

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



APLICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES
EN PAVIMENTOS

INFORME DE INGENIERIA PARA OPTAR EL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

NOMBRE VIÑAS CAMACHO CARLO HERNAN

LIMA – PERU

2001

AGRADECIMIENTOS

- Un agradecimiento muy especial a mi Alma Mater. La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y en especial a sus destacados profesores, que de alguna u otra forma, me formaron en esta hermosa profesión.
- Mi agradecimiento al Ing. Néstor Huamán Guerrero por su apoyo total en la realización del presente Informe

DEDICATORIA:

- Dedico este trabajo a mis padres, Gloria y César, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria y por la paciencia mostrada para la consecución de este logro.
- A mis hermanos, Ceci y Oscar, por su apoyo ; a Gisela por su paciencia mostrada hasta ahora y a todos los que de alguna manera forman parte de este momento.

INDICE

INDICE

INTRODUCCION	6
CAP. 1 :GEOSINTETICOS Y GEOTEXTILES - ASPECTOS TEORICOS	
1.1 GENERALIDADES	8
1.2 GEOSINTETICOS	12
1.3 GEOTEXTILES	12
1.3.1 Tipos de Geotextiles	13
1.3.2 Funciones de los Geotextiles	15
1.3.3 Características de los Geotextiles	18
1.3.4 Campos de aplicación de los Geotextiles	20

CAP II :PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES

2.1 PROPIEDADES GENERALES DE LOS GEOTEXTILES

2.1.1 Masa por unidad de área	23
2.1.2 Espesor	4
2.1.3 Gravedad Específica	24

2.2 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS GEOTEXTILES

2.2.1 Resistencia a la tracción "GRAB"	25
2.2.2 Elongación Aparente	26
2.2.3 Resistencia a la tracción en "tiras anchas"	26
2.2.4 Elongación en "tiras anchas"	27
2.2.5 Módulo de tensión	27
2.2.6 Resistencia al Reventamiento "Mullen"	28
2.2.7 Coeficiente de fricción suelo – geotextil	28
2.2.8 Elongación a largo plano con carga estática	29

2.3 PROPIEDADES HIDRAULICAS DE LOS GEOTEXTILES

2.3.1 Permisibilidad	30
2.3.2 Tamaño de Apertura Aparente (AOS)	31
2.3.3 Relación de Gradientes	32

2.4 PROPIEDADES DE DURABILIDAD DE LOS GEOTEXTILES

2.4.1 Resistencia al ataque químico	34
2.4.2 Resistencia al ataque biológico	35
2.4.3 Resistencia a la temperatura	36
2.4.4 Resistencia a la luz solar	37

CAP III : METODOS DE DISEÑO DE LOS GEOTEXTILES

3.1 DISEÑO POR COSTO	38
3.2 DISEÑO POR ESPECIFICACION	39
3.3 DISEÑO POR FUNCION	39
3.3.1 Ejemplo de diseño	43

CAP IV : APLICACIONES DE LOS GEOTEXTILES EN VIAS - SEPARACION Y REFUERZO

4.1 GENERALIDADES	48
4.2 MECANISMOS DE FALLA	
4.2.1 Refuerzo local	50
4.2.2 Restricción lateral	50
4.2.3 Efecto Membrana	51
4.3 FUNCIONES DE LOS GEOTEXTILES	51
4.4 CONDICIONES DE SUB-RASANTE DONDE SE APLICA REFUERZO	53
4.5 APLICACION EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS	55
4.6 APLICACION EN CAMINOS PAVIMENTADOS	56
4.7 METODOLOGIA DE DISEÑO	
4.7.1 Diseño por separación	60
4.7.2 Ejemplo de diseño	79
4.8 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS	88
4.8.1 Traslapes y Costuras	91

CAP V : APLICACION DE LOS GEOTEXTILES EN EL PERU

PROYECTO DE REHABILITACION DE LA CARRETERA

PUQUIO - CHALLHUANCA.

TRAMO PUQUIO- DESVIO PAMPACHIRI

5.1 DATOS GENERALES	102
5.2 MEMORIA DESCRIPTIVA	103
5.2.1 Antecedentes	104
5.2.2 Objetivos del proyecto	104
5.2.3 Ubicación del proyecto	105
5.3 ESTUDIO DE TOPOGRAFIA, TRAZO Y DISEÑO GEOMÉTRICO	
5.3.1 Trazo vial y características de la via Rehabilitada y mejorada	113
5.3.2 Movimientos de tierras	119
5.3.3 Pavimentos	120
5.4 ESTUDIO DE TRAFICO	
5.4.1 Estudio de tránsito y capacidad vehicular	138
5.4.2 Tráfico en la Carretera Nasca-Cusco	142
5.5 DISEÑO DEL PAVIMENTO Y SECCIONES TÍPICAS	
5.5.1 Evaluación del Pavimento	143
5.5.2 Juicio sobre la capacidad estructural	144
5.5.3 Métodos y diseño de refuerzo del pavimento	150
5.5.4 Conclusiones y Recomendacione	152

5.6 ESPECIFICACIONES TECNICAS

5.6.1 Geotextil de Refuerzo	155
5.6.2 Uso de Geotextil en carretera	156
5.6.3 Estabilización de suelos con Geotextiles	157
5.6.4 Especificaciones Técnicas	159
5.6.5 Diseño de Geotextil Usado	161
5.6.6 Recomendaciones para su instalación	165
5.7 PRESUPUESTO	166

ANEXOS Y PANEL FOTOGRAFICO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Desde hace varias décadas el área de diseño y construcción de vías se ha preocupado por mantener un desarrollo que permita mejorar cada día las metodologías de diseño y las técnicas de construcción, para ofrecer obras de alta calidad con un buen nivel de servicio durante su vida útil. Dentro de este desarrollo se ha involucrado la tecnología de los geosintéticos buscando mejorar de una forma eficiente y económica las deficiencias de los elementos y materiales que componen las vías.

Como bien sabemos, el material que con mayor profusión utiliza el ingeniero civil para la construcción de las obras, procede de la corteza terrestre; se trata consecuentemente de materiales naturales constituidos por suelos y rocas cuyo empleo tiene su principal justificación en razones fundamentalmente de carácter económico. A cambio de ésta y otras grandes ventajas, la práctica profesional permite advertir que con relativa frecuencia las propiedades de estos materiales, al no satisfacerlas características deseables en su estado natural, requieren de

diferentes procesos y tratamientos para modificar su comportamiento a las condiciones deseadas. Dentro de esta problemática es lógico que el ingeniero desde tiempo inmemorial haya derivado su atención hacia el uso de materiales artificiales para procurar su empleo, dentro de ciertos límites, como alternativa o complemento a los materiales naturales. Dentro de estos materiales podemos indicar que a partir de algo más de una década han aparecido en el mercado un sin número de materiales manufacturados; se trata de materiales que ya empiezan a ser familiares a los ingenieros y que se designan con términos tales como georredes, geomembranas, geotextiles, y cuyo conjunto los comprende y engloba el vocablo denominado “geosintéticos”.

El tema del que nos ocupamos en el siguiente trabajo es acerca de los geotextiles y su aplicación en obras viales en general. Los geotextiles son uno de los geosintéticos más versátiles con los que se cuenta hoy en día cumpliendo diversas funciones. Estas funciones son diariamente utilizadas desde pequeñas obras hasta mega-proyectos desarrollados por ingenieros y arquitectos alrededor del mundo. Estas obras de alguna forma involucran las diferentes ramas de la ingeniería como son: ingeniería de suelos, ambiental, hidráulica, de vías, etc. Por su utilización contribuyen a reducir costos y mejoramientos de rendimiento de obra con los beneficios correspondientes, llegando a colocar a los geotextiles y a los demás geosintéticos como materiales de una nueva generación, aunque los conceptos que los originan y describen, la humanidad ya los conociera desde hace miles de años en algunos casos.

CAP. I

GEOSINTETICOS Y GEOTEXTILES – ASPECTOS TEORICOS

1.1 GENERALIDADES

Si tomamos en cuenta, como ya lo advirtió Terzaghi varias décadas atrás, que los problemas que plantea el suelo en la ingeniería civil tienen dos vertientes: como material de construcción y como material de cimentación, en ambos tipos de problemas los geosintéticos ofrecen coadyuvar en su solución. El prefijo “geo” nos sugiere a materiales que tienen que ver con los aspectos geotécnicos de las obras de ingeniería. La anterior circunstancia aunada al auge de los geosintéticos, a sido motivo de simposios y conferencias en los últimos años, que en esencia buscan

propiciar el intercambio de conocimientos sobre el tema, haciendo una revisión crítica de los avances logrados a la fecha tanto nacional como internacionalmente.

Desde la antigüedad, se han colocado materiales naturales como pieles o fibras vegetales sobre los suelos muy blandos, para reforzarlos y evitar la incrustación de materiales de préstamo en la construcción de caminos, bordos, etc. Así por ejemplo en el sur de Inglaterra 2500 años antes de Cristo, arqueólogos afirman que se utilizaron varas y ramas para hacer caminos en zonas pantanosas. Los romanos tejían entre sí las ramas antes de colocar piedras. En China y otros países orientales, se usó camas de bambú para reforzar el suelo. El empleo de telas con estos fines se inicia en el siglo pasado, en la década de los años 60, y los primeros textiles fabricados específicamente para obras de ingeniería aparecen a principios de los años 70; se adoptan entonces los términos geotextil y geomembrana como denominación de materiales elaborados con polímeros que se emplean en geotecnia.

A partir de los años 80, se desarrollan las georredes, las geomallas y los geodrenes, productos que representan la segunda generación de geosintéticos y que fueron diseñados para satisfacer necesidades particulares en obras realizadas en todo el mundo.

Durante estas dos décadas, la praxis se adelantó a la teoría, por la variedad y cantidad de obras en las que se usaron geoproductos con base en métodos semiempíricos de cálculo. Como toda nueva tecnología, los geosintéticos solamente pueden lograr credibilidad y respetabilidad a través de un proceso largo y laborioso consistente en

numerosos estudios teóricos y experimentales, tanto en el campo como en el laboratorio, hasta que se defina progresivamente una metodología racional de diseño.

En 1977, los ensayos triaxiales conducidos por Broms “Triaxial Tests with Fabric-Reinforced Soil” mostraron el beneficio de los efectos del geotextil, según el lugar de colocación.

R. Koerner en su libro “Designing with Geosynthetics” afirma que el geotextil colocado en una mala posición no beneficia a la estructura. En 1978, Barenberg y Bender analizaron el mejoramiento de la capacidad portante de los suelos reforzados con geotextil mediante ensayos de laboratorio a pequeña escala “Design and Behaviour of Soil Fabric Aggregate System”.

En 1981, Giroud y Noiray “Design of Geotextile Reinforced Unpaved Roads”, desarrollaron un método analítico para el cálculo de esfuerzos en el suelo de subrasante, utilizando geotextil en la interface subrasante-capa granular, involucrando el concepto de mejoramiento de C.B.R. y disminución del espesor de la capa granular.

En 1985, Giroud estudió el mejoramiento de la capacidad portante en arenas finas reforzadas con un geotextil no tejido de alto módulo, termounido, en función del asentamiento y el ahuellamiento que se presenten. En base a este estudio, el Instituto de Investigación de Geosintéticos de Drexel realizó ensayos de laboratorio con suelos blandos, finos compresibles empleando un geotextil tejido, de cinta plana y de alto

módulo. Los resultados de estos ensayos demostraron incrementos importantes en la capacidad portante, pero solo en grandes deformaciones.

En 1987, Holtz y Sivakugan, "Design Charts for Roads with Geotextile", desarrollaron cartas de diseño con base en los estudios de Giroud y Noiray, para determinar el espesor de la capa granular en función del C.B.R. del suelo de subrasante y de las propiedades del geotextil utilizado.

En 1995, Ismail y Raymond presentaron un estudio sobre el refuerzo con geomalla en capas granulares para aumentar la máxima capacidad portante y reducir el asentamiento, evaluando los efectos del ahuellamiento. Para estos ensayos se tomó como variables el número de capas de refuerzo, su posición dentro de la capa granular y el espesor de las capas de suelo.

En 1997, Mantanelly presentó el estudio "Geosynthetics-Reinforced Pavement System: Testing and Design" sobre los efectos del uso de geosintéticos en sistemas de pavimentos flexibles, basados en los trabajos de Barskdale (1989).

Se iniciaron ensayos a gran escala, empleando una malla en la interface subrasante-capas granular, simulando condiciones de carga de tráfico con cargas ciclicas dinámicas. Se analizaron estructuras de pavimentos compuestos por una carpeta asfáltica, una capa granular y suelo de subrasante, con diferentes resistencias. En este mismo año, Ashmany y Bourdeau presentaron los resultados de un estudio experimental de suelo reforzado con geotextil, bajo la aplicación de cargas ciclicas, simulando condiciones de carga de tráfico, "Testing and Análisis of Geotextile-

Reinforced Soil Under Cyclic Loading”. Los ensayos se realizan con un suelo CI. con diferentes contenidos de humedad; el refuerzo se hizo con diferentes capas de geotextiles en diferentes posiciones.

Las investigaciones actualmente continúan y se realizan simposios y conferencias al respecto.

1.2 GEOSINTETICOS

Los llamados geosintéticos son productos fabricados a partir de polímeros (del griego Polys-Meros, que significa “muchas partes”), que son empleados en obras de ingeniería civil para cumplir funciones de anticontaminación, redistribución de esfuerzos, refuerzo de tierra, filtración, drenaje, control de la permeabilidad y otras funciones. Los principales miembros de esta familia son los geotextiles, las geomembranas, las georredes y muchos otros, denominados geocompuestos.

Como se indicó en la introducción, en el presente trabajo nos ocuparemos, principalmente de los geotextiles, y su aplicación a los pavimentos.

1.3 GEOTEXTILES

Los geotextiles son membranas permeables, que utilizadas en combinación con la cimentación, suelo, roca, tierra o cualquier otro material geotécnico, forman parte de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre. Se componen de un grupo

de polímeros denominados Plásticos, que son moléculas gigantes obtenidas sintéticamente a partir de derivados de la industria petroquímica.

El geotextil retiene partículas de un determinado tamaño, dejando pasar partículas mucho más finas hasta llegar al punto de equilibrio. Este procedimiento se lleva a cabo influenciado por el flujo laminar, el gradiente hidráulico y el tipo de suelo (granulometría). El poder de retención del geotextil está dado por la abertura eficaz de poros.

1.3.1 TIPOS DE GEOTEXTILES

Los geotextiles se clasifican en:

- No Tejidos:
 - Termosellados
 - Entrelazados mecánicamente (Punzonados por Agujas)
- Tejidos

Geotextiles No tejidos

- **Geotextiles No Tejidos Termosellados.-**

Proceso: Los filamentos se orientan en forma irregular distribuyéndose en todos los sentidos. El sellado o unión por fusión se logra pasando el material entre rodillos calientes (calandreo), uniéndose las fibras en las zonas donde se cruzan.

Materia Prima: Filamentos continuos de polipropileno o nylon/polietileno. Un porcentaje de los filamentos se funde primero, manteniéndose intacta la resistencia de los filamentos restantes.

Principales características: No existe movimiento relativo entre las fibras. Productos ligeros de espesor reducido, con módulo de tensión intermedio y prácticamente isotrópicos. Su peso por unidad de área es promedio, por la falta de homogeneidad total en la distribución de la fibra. Presentan una variedad amplia de tamaños de abertura que es necesario medir por métodos indirectos.

- **Geotextiles No Tejidos Entrelazados Mecánicamente.-**

Proceso: Por medio de la acción de agujas, las fibras se enredan entre sí. Algunas veces se les imparte un acabado de impregnación de resinas del tipo acrílico, que aumenta la resistencia a la tensión, la resistencia a la perforación, pero reduce la elongación y la resistencia al rasgado, debiendo aplicar un secado especial para restablecer la permeabilidad.

Materia Prima: Filamento continuo o bien fibra cortada (típicamente 0.15 m de longitud). Los polímeros más usados son el polipropileno y el poliéster.

Principales Características: Existe movimiento relativo entre fibras. Productos con apariencia de felpa, gruesos, con módulo de tensión intermedio. Pueden fabricarse isotrópicos. Su peso por unidad de área es también promedio por la misma razón que

los Termosellados. Sus tamaños de abertura también deben medirse por métodos indirectos, con mayor imprecisión que para los Termosellados. Su espesor y permeabilidad varían con la presión.

Geotextiles Tejidos.-

Proceso: Urdido (tramado). Los elementos individuales se entrelazan en disposición geométrica regular, perpendicularmente unos con respecto de otros.

Materia Prima: Monofilamentos, multifilamentos o cinta plana (raña). Los polímeros pueden ser polipropileno, poliéster o polietileno.

Principales Características: Varía el movimiento relativo entre fibras, su módulo de tensión varía de intermedio a alto. Pueden ser isotrópicos. Tamaños de abertura constante que se miden con procedimientos sencillos.

1.3.2 FUNCIONES DE LOS GEOTEXTILES

En forma general se puede decir que un geotextil puede cumplir funciones de:

- Separación
- Refuerzo
- Filtración, y
- Drenaje planar
- Protección

Separación.-

Es importante anotar que ésta es una de las aplicaciones que mayor cantidad de geotextiles utiliza en el mundo en la construcción de carreteras y protecciones de riveras y playas. Es indudable que un kilo de gravas adicionado a un kilo de lodo, cuando de carreteras se trata, y sin separación adecuada, tendremos dos kilos de lodo, es decir, de una manera general, impiden la contaminación de los agregados seleccionados con el suelo natural. Usando geotextiles, se reemplazan enormes cantidades de capas de suelos granulares clasificados, así como también hay una reducción del impacto ambiental causado por la explotación de estos recursos no renovables. En esta aplicación son los Geotextiles Tejidos de Cinta Plana los que por su costo y robustez tradicionalmente se usan, pero los no tejidos también participan cuando financiera y técnicamente se puedan justificar.

Refuerzo de suelos.-

Para el refuerzo de suelos, es conveniente utilizar Geotextiles Tejidos de Alto Módulo. Básicamente este geotextil introduce un refuerzo a tensión dentro del suelo, logrando así un comportamiento diferente del conjunto suelo-geotextil ante cargas impuestas. Existe una enorme cantidad de información e interés al respecto y es así como se realizan congresos mundiales únicamente dedicados al tema. La posibilidad de desarrollar suelos mecánicamente estabilizados, ofrece en la ingeniería moderna la alternativa de reemplazar las costosas estructuras de contención externas (muros de contención) y ser reemplazadas por contenciones internas (suelos mecánicamente estabilizados), este cambio indudablemente ofrece nuevos rumbos en

la ingeniería geotécnica. En algunos círculos de ingenieros en el mundo, se considera este salto tecnológico, como el mismo cambio experimentado por el transporte cuando se pasó de la fuerza animal de tracción a las máquinas de vapor, el desarrollo del ferrocarril y la revolución industrial. Las posibilidades de fundar terraplenes sobre suelos blandos sin necesidad de colocar pilotes o faraónicas obras como “pedraplenes” para poder reducir el ángulo de inclinación de los taludes de terraplenes y empinar considerablemente sus caras produciendo taludes reforzados en una increíble nueva oportunidad de proyectos que reducen impactos ambientales, favoreciendo los aspectos económicos y tecnológicos.

Filtración.-

El geotextil permite el paso del agua a través de los poros, impidiendo que las partículas sólidas lo traspasen; la posibilidad de reemplazar capas de filtros granulares hace que su aplicación reduzca costos y tiempos de ejecución, los geotextiles que actualmente se utilizan son los No Tejidos Punzonados por Agujas y los Tejidos Monofilamento. Siendo estos últimos considerados los “Rolls Royce” de la industria. Normalmente esta aplicación involucra a los sub-drenes laterales de carreteras, recolección de lixiviados, captación y conducción de gases y zanjas drenantes.

Drenaje Planar.-

Igualmente y relacionado al punto anterior, el drenaje planar de los geotextiles no tejidos punzonados hace posible el drenaje del agua en su plano, evitando el

desarrollo de la presión de poros en la masa del suelo; en este caso el geotextil reemplaza a algunas capas de materiales granulares para drenar gases o líquidos, aunque las georredes hacen mucho mejor este trabajo.

Protección.-

Otra de las funciones de especial interés es la protección ofrecida por el geotextil a otros elementos tales como las geomembranas. Aquí el Geotextil Punzonado por Agujas, amortigua el punzonamiento sobre la geomembrana y evita que ésta se perfora, reemplazando los costosos mantos de arena, bien sea por tiempo de ejecución, como de explotación, transporte y colocación. Cuando existen fundaciones blandas o se presenta grietas en los suelos donde se colocarán las geomembranas, se utiliza un Geotextil Tejido de Alto Modulo para desarrollar pequeños puentes y asegurar que la membrana no se elongue y se reduzcan así sus propiedades.

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS GEOTEXTILES

Resistencia a la tensión.-

Los geotextiles poseen una alta resistencia a la tensión y pueden absorber tales esfuerzos cuando las estructuras son sometidas a cargas.

Elongación.-

Propiedad importante de los geotextiles no tejidos. Permite un mejor acomodamiento en terrenos irregulares, manteniendo su resistencia, bajo deformaciones iniciales que presente la obra.

Resistencia Química.-

Por ser fabricados en polipropileno, los geotextiles son resistentes a los ácidos, álcalis, insectos y microorganismos.

Permeabilidad y flujo planar.-

Los geotextiles no tejidos por ser punzados, permiten un mejor drenaje en el sentido del plano y en el sentido perpendicular a este.

Resistencia a la temperatura.-

El polipropileno es resistente a altas temperaturas. En repavimentación, el asfalto se coloca sobre el geotextiles entre 120 y 150 °C, de acuerdo a las Normas Técnicas.

Capacidad de Filtración.-

Por su porometría, los geotextiles permiten el paso del agua y retienen los materiales finos.

1.3.4 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS GEOTEXILES

Mencionaremos de manera puntual algunas aplicaciones del geotextil en la ingeniería:

- Construcción de vías pavimentadas y no pavimentadas
- Repavimentación (ya mencionado)
- Ferrovías
- Subdrenes
- Muros de contención
- Tratamiento de muros en edificaciones
- Terraplenes
- Gaviones
- Muelles y puentes
- Presas, diques y canales
- Túneles
- Embalses y rellenos sanitarios

En este trabajo abarcamos solamente la primera aplicación, en la construcción de vías pavimentadas y no pavimentadas ejerciendo funciones de separación y refuerzo

de la estructura del pavimento, ya que como vemos el campo de aplicación de los geotextiles es muy variado y está limitado sólo por la imaginación y habilidad del ingeniero, ofreciéndonos una nueva perspectiva en el desarrollo de la ingeniería. Pero una de sus mayores debilidades no radica en ellos mismos, sino en el grado de conocimientos que los ingenieros posean al respecto. Así vemos como en algunos lugares de América Latina, personas que inescrupulosamente manipulan el mercado a su conveniencia, evitan que se de el correcto proceso de evolución en la información.

La mala aplicación, la confusión en las funciones principales, las especificaciones no completas para una aplicación en un proyecto, son desventajas que los materiales tendrán que enfrentar. El ingeniero debe saber especificar un geotextil, ya que existe un geotextil para cada tipo de proyecto, de acuerdo a qué tipo de función de las expuestas anteriormente, tendrá mayor incidencia en el proyecto.

Presentamos a continuación una tabla de funciones por aplicación de los geotextiles:

	Separación	Filtración	Drenaje en el plano	Refuerzo
Vías	■	■	■	■
Repavimentación	□	□	□	■
Ferrovías	■	■	■	■
Sist. Drenaje / filtración	■	■	■	□
Muros de contención	■	□	□	■
Tratamiento de muros	■	■	■	□
Terrapienes	■	□	■	■
Gaviones	■	■	□	□
Muelles y puentes	■	■	□	□
Presas, diques y canales	■	■	□	□
Túneles	□	■	■	□
Embalses y rellenos sanit.	■	□	■	□

■ : importante
 ■ : ligeramente importante
 □ : no importante

Una de las aplicaciones que para el caso de América Latina representa una gran oportunidad de reducción de costos, es el de la aplicación de Geotextiles No Tejidos Punzonados por Agujas, en el mantenimiento vial, cuando estos son aplicados en trabajos de repavimentación de vías con concreto asfáltico o en nuevas vías cuando la impermeabilidad del pavimento es crucial para el correcto desempeño del proyecto. Los resultados de aplicar geotextiles en repavimentación se manifiestan como una reducción del calado de fisuras del pavimento viejo al nuevo, impermeabiliza la nueva capa evitando todas las consecuencias negativas de la vía, y representa en términos de fatiga un espesor equivalente a 3 cm de espesor. Es indudable que esta es una alternativa muy importante, una vez que la mayoría de las mallas viales de los países en la América Latina están en un proceso de mantenimientos una vez que han alcanzado su vida útil o los materiales con los que se construyó no presentaron un buen comportamiento.

En el caso de vías pavimentadas y no pavimentadas, el uso combinado de suelo (bueno en compresión, malo en tracción) y un geotextil (bueno en tracción y malo en compresión) hace una realidad que este sistema suelo – geotextil trabaje mejor. Los geotextiles mejoran la capacidad portante del terreno al imprimir una mejor distribución de las cargas producidas por el tráfico. Actúan como separador entre la sub-rasante y la sub-base evitando el ascenso de finos debido a la repetición de cargas incrementando la vida útil del pavimento.

CAP. II

PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES

2.1 PROPIEDADES GENERALES DE LOS GEOTEXTILES

2.1.1 MASA POR UNIDAD DE ÁREA

Los métodos normalizados más comunes son:

- ASTM D-3776
- ASTM D-1910

Muy utilizada para comparar geotextiles entre sí, pues el costo es directamente proporcional a la masa/unidad de área, al igual que el costo de instalación. Su homogeneidad indica la homogeneidad mecánicas.

2.1.2 ESPESOR

- ASTM D-1777

Este método no es específico para geotextiles de ASTM se menciona la propiedad “Espesor Comprimido”, que es el espesor de un geotextil bajo un esfuerzo normal específico.

Se determina a diferentes presiones. A mayor espesor, mayor permeabilidad en el plano de la tela y mayor potencial de absorción de agua. Al variar esta propiedad con la presión, cambia la distribución de aberturas, la capacidad filtrante, la permeabilidad, etc.

2.1.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA

Propiedad definida por el polímero que constituye la tela. El polietileno y polipropileno tienen una gravedad específica menor a 1, lo que indica que el peso de un volumen unitario de dicho polímero es menor que el correspondiente al agua destilada a 4°C. (Método ASTM D-792)

Indica si el geotextil flota o no en agua; tiene relación con la facilidad y costo de colocar al textil en zona inundadas o en el mar. Se relaciona con el costo de instalación.

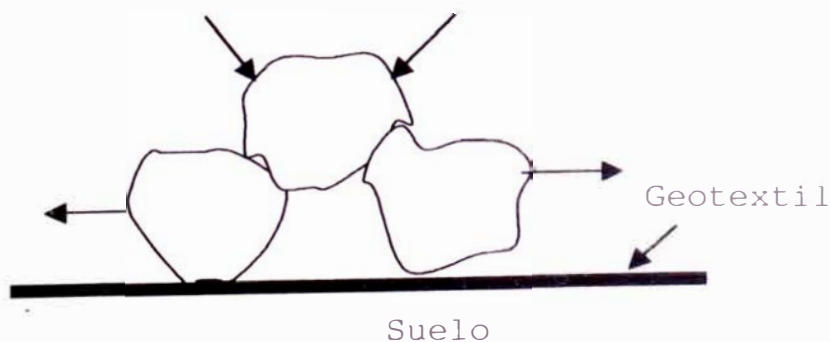
A continuación se describen los métodos de ensayo de las propiedades mecánicas de los geotextiles, mismas que tienen relación con las aplicaciones de refuerzo y con la resistencia a daños durante la instalación.

2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS GEOTEXILES

2.2.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN “GRAB”

Se determina la carga que causa ruptura de la muestra de tela, misma que sólo se sujeta por la mordaza en la parte central, por lo que existe contribución de un porcentaje de las fibras laterales a la resistencia total. Prueba Índice. Se ha utilizado el método ASTM D-1682, que es típicamente textil, siendo más adecuada la prueba ASTM D-4632, específicamente desarrollada para geotextiles, pues la ruptura se lleva a cabo en más tiempo, permitiendo que las fibras se alinien en el sentido de la tracción, como puede suceder en la aplicación geotécnica.

Existe cierto paralelismo entre la forma de ensayar la tela y lo que físicamente le sucede a dicho material cuando se extiende agregado sobre él, como se muestra enseguida (Koerner)



Se emplea para comparar daños por instalación teóricos contra la Resistencia del geotextil contemplado en el proyecto y para el Control de Calidad.

2.2.2 ELONGACIÓN APARENTE

Mediante el uso de extensores, se determina paralelamente a la carga que ocasiona la ruptura, en la determinación indicada arriba, corresponde al incremento en longitud en el punto de ruptura, expresado en porcentaje de la longitud original de la muestra. Métodos ASTM D-1682 y ASTM D-4632.

Es una de las propiedades es que mejor se relaciona con la resistencia a daños en la instalación, pues la elongación es otro componente de la respuesta del material a la aplicación de un esfuerzo de tracción.

Esta propiedad, en combinación con la Resistencia a la Tracción (también nombrado Carga de Ruptura) del material, dan la resistencia total combinada en los casos en que las sollicitaciones mecánicas impuestas al geotextil se manifiestan mediante tensiones.

2.2.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN TIRAS ANCHAS

Método ASTM D-4595-86

La mordaza sujeta el ancho total del espécimen, el cual es de 20 cm. La distancia entre mordazas es de 10 cm., lo cual es una novedad pues la muestra es más ancha que larga, por la razón de que lo anterior origina rupturas más adecuadas, sin adelgazamiento de la tira que se prueba. Método particularmente adecuado para geotextiles no tejidos y para geotextiles tejidos con resistencia de aproximadamente 100 KN por metro de ancho.

Prueba adecuada para determinar la resistencia “real” del material, para diseño del refuerzo en muros de contención, terraplenes, taludes y otros casos donde se desea refuerzo a la tensión. Esta propiedad se reporta en N/m de ancho.

Se recomienda precaución al comparar resultados de diferentes laboratorios, pues aún no existen correlaciones de precisión entre laboratorios en forma suficientemente amplia, en parte porque se pueden requerir modificaciones a las mordazas, eventualmente.

2.2.4 ELONGACIÓN EN TIRAS ANCHAS

Método ASTM D-4595-86

Normalmente se proporciona en %. Se determina paralelamente a la resistencia a la tracción en forma manual (con regla) o mediante graficadores.

Relación idéntica a la indicada para el caso de la prueba “Grab”, sólo que en esta determinación se conocen valores más cercanos a la realidad. Esta propiedad se reduce al incrementarse la presión de confinamiento sobre el geotextil.

2.2.5 MÓDULO DE TENSIÓN

Método ASTM D-4595-86

Se define como el cociente entre el cambio en fuerza por unidad de ancho y el correspondiente cambio en deformación. Su determinación se efectúa en la gráfica de Resistencia a la Tracción contra % de Elongación. Existen variantes: el módulo tangente, el módulo secante y el módulo “offset”.

Es una de las propiedades más significativas para aplicaciones de refuerzo. Indica la capacidad de soporte que puede proporcionar el textil, así como, inversamente, su capacidad de adaptarse a irregularidades del terreno donde se aplica. Diversos métodos de diseño de caminos revestidos, terraplenes y sobre carpetas reforzadas con geotextiles tomando en cuenta esta propiedad.

2.2.6 RESISTENCIA AL REVENTAMIENTO MULLEN

Método ASTM D-3786

En forma muy sencilla, consiste en someter una muestra del geotextil a presión axial de un émbolo de hule en forma de burbuja, que es accionado por un sistema hidráulico. Prueba Índice ampliamente utilizada en la industria del cartón. Otros métodos son los siguientes: ASTM D-751 y DIN 53861

Se puede utilizar para comparar el daño ocasionado a un geotextil durante su instalación.

2.2.7 COEFICIENTE DE FRICCIÓN SUELO – GEOTEXTIL

Existen diferentes métodos, que son adaptaciones de la prueba de esfuerzo cortante empleada en geotecnia, modificada para fijar el geotextil al arreglo. En el aparato empleado por Haliburton, mismo que también se puede modificar, para colocar dos suelos representativos de la situación real que se desea modelar y determinar la resistencia al deslizamiento por medio de aplicación de una fuerza al textil para tratar de sacarlo de su lugar.

Empleado sobre todo en el cálculo de muros de contención reforzados por cápsulas de geotextil, donde el material trabaja por fricción y en general, en las aplicaciones de refuerzo.

Frecuentemente, con el resultado de esta prueba, comparado con las propiedades del suelo, se obtienen Eficiencias en cohesión y ángulo de fricción, siendo los parámetros del suelo los límites máximos para el sistema suelo geotextil.

2.2.8 ELONGACIÓN A LARGO PLANO, CON CARGA ESTÁTICA (FLUJO PLÁSTICO)

Los métodos disponibles consisten en fijar cargas el estáticas en muestras anchas de la tela (tipo ASTM D-4595), correspondientes a las cargas que causan elongaciones diversas en ensayos de tensión normales, computándose la elongación obtenida a diferentes lapsos de observación. Los resultados son meros índices.

Propiedad muy importante para el caso de refuerzo. Ensayos preliminares con presión de confinamiento muestran un mejoramiento del desempeño para geotextiles entrelazados mecánicamente y termosellados (McGown et al, 1982 y 1986)

Por este concepto es necesario considerar factores de seguridad adecuados al tipo de geotextil.

2.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS GEOTEXTILES

2.3.1 PERMISIBILIDAD (Ψ), (T^{-1})

Se define como la calidad de flujo volumétrico de agua por unidad de área, por unidad de carga hidráulica bajo condiciones de flujo laminar, en una Dirección normal a través del geotextil. Se determina por el método ASTM D-4491-85, pudiendo optar por el ensaye de Carga Constante o el de Carga Constante o el de Carga Variable. En la primera opción, se verifica que exista flujo laminar.

Los aparatos para esta determinación geotécnicas. El método de carga constante se emplea en caso de tener flujos muy altos. Las determinaciones se efectúan midiendo el flujo a través del geotextil, calculando la permisibilidad, en la que se encuentra implícito el espesor del material.

Propiedad directamente relacionada con la filtración, que se utiliza en ecuaciones de diseño por función. Multiplicada por el espesor nominal de la tela, se convierte en el Coeficiente de Permeabilidad K , el cual debe conservar cierta proporción con respecto del Coeficiente de Permeabilidad del suelo, para cumplir con la conocida condición de suficiente permeabilidad. Existen diversos criterios al respecto, siendo el más común el que requiere que K de la tela sea mayor que K del suelo, existiendo otro criterio (32) que asigna factores de corrección a k del geotextil, de acuerdo al riesgo correspondiente al tipo de sistema diseñado ya sea el dren de una carretera o de una presa, etc.

2.3.2 TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE (AOS)

Método ASTM D-4751-87

La determinación se efectúa con un vibrador del tipo empleado para determinar la granulometría de agregados. El geotextil se fija entre dos cernidores que no tienen malla fina en su fondo y sobre él se coloca un peso conocido de esferas de vidrio calibradas a determinado tamaño U.S. Standard, sometiendo el arreglo a 10 min. de vibración, al cabo de lo cual se determina el % de esferas que se retuvo, en relación con el peso inicial.

Se ensayan tamaños de esferas cada vez mayores. AOS es el tamaño de malla U.S. Standard correspondiente a la fracción de esferas que fueron retenidas en un 95% o más.

También se expresa como O_{95} , en cuyo caso el valor corresponde a la equivalencia en mm del tamaño o número de la malla.

Es una Prueba Índice, pero que tiene los siguientes problemas:

Para geotextiles entrelazados mecánicamente, las esferas de vidrio se quedan atrapadas, además de no modelar adecuadamente el cambio de la estructura filtrante con la presión.

En las condiciones de la prueba, para algunas telas tejidas de cinta plana, las fibras se mueven, creando aberturas mayores a las reales.

Las esferas de vidrio se llegan a romper con el uso, dando resultados erróneos, por lo que requiere un cuidadoso manejo.

Tiene relación con el filtrado de partículas de suelo por medio de la estructura del textil. Prácticamente todos los criterios de filtración hacen uso de esta variable, así:

Criterio “Grupo de Trabajo 25”

Para suelos con contenido de partículas que pasan la malla 200, hasta 50%, el filtro geotextil debe cumplir que:

$$\text{AOS} \geq \text{Malla } 30 \text{ (0.6 mm)}$$

Para suelos donde dicho porcentaje es mayor a 50%:

$$\text{AOS} \geq \text{Malla } 50 \text{ (0.3 mm)}$$

Criterio Carroll

$$-0_{95} < (2 \text{ ó } 3) d_{85}$$

Los anteriores son sólo algunos de los criterios disponibles. Otros criterios reconocidos son los de Giroud, que relacionan o_{95} de la tela, por medio de un factor de corrección compuesto de varios componentes que toman en consideración la distribución del tamaño de granos del suelo, su densidad, el gradiente hidráulico y la función específica del textil.

2.3.3 RELACIÓN DE GRADIENTES

El trabajo desarrollado por Haliburton en el que se hace fluir agua desaerada a través del sistema, compuesto por el geotextil que se desea evaluar, sobre el cual se coloca

un espesor de 10.16 cm del suelo real del proyecto en cuestión. La carga hidráulica es constante. Al cabo de 24 horas a partir del momento en que las lecturas piezométricas se han estabilizado, se determina el gasto y las lecturas piezométricas correspondientes al suelo colocado 2.54 cm y 5.08 cm arriba de los materiales cuya carga se determinó en primer término.

Esta prueba se modela con las condiciones aplicables de suelo, carga hidráulica, geotextil y gradientes hidráulico de un proyecto específico. También puede utilizarse un material (suelo) tipo que sea fácilmente obtenible y mezclado con otro en el laboratorio.

Modela el posible problema de oclusión total de los poros de un geotextil, con el efecto, con el efecto correspondiente del cese del flujo a través de él. Esta prueba ha sufrido varios cambios a partir del desarrollo por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A. (Calhoun), luego Haliburton y posteriormente por el sub-comité de geotextiles D-35 de ASTM. El Cuerpo de Ingenieros indica que cuando la relación de gradientes es mayor a 3, es indicio de oclusión.

Otros tipos de pruebas hidráulicas se efectúan a los geotextiles, como puede ser la determinación del coeficiente de Permeabilidad en el Plano o Transmisibilidad, la cual también se aplica a los productos geosintéticos conocidos como geodrenes, los cuales han desplazado a los geotextiles fabricados por entrelazamiento mecánico como drenes.

2.4 PROPIEDADES DE DURABILIDAD DE LOS GEOTEXTILES

Estas propiedades incluyen la resistencia al ataque químico, biológico, térmico y a la luz ultravioleta.

2.4.1 RESISTENCIA AL ATAQUE QUÍMICO

El método ASTM D-543, cuyo título es “Resistencia de los plásticos a los reactivos químicos” proporciona una lista de 50 reactivos estándar, los cuales se emplean para el ensaye químico, sometiendo muestras del geotextil a ataque acelerado a altas temperaturas. Como resultado, se reportan cambios en peso, dimensiones, apariencia y propiedades mecánicas.

El método EPA 9090, desarrollado inicialmente para el ensaye de geomembranas, será modificado en breve para incluir la prueba de geotextiles que serán empleados en sistemas de impermeabilidad de presas de almacenamiento de desechos químicos peligrosos. Este método está diseñado para evaluar la compatibilidad química de los geosintéticos con los productos depositados en las presas. El procedimiento consiste en sumergir el textil en el producto químico o fluido de lixiviación de que se trate, durante 120 días, tanto a temperatura ambiente como a 50° C. Previo a la inmersión y después de cada 30 días, se efectúa la determinación de espesor, masa por unidad de área, resistencia a la tracción por el método Grab, resistencia al rasgado, resistencia al reventamiento Mullen, resistencia de perforación, permisibilidad y transmisibilidad, de acuerdo a los métodos ASTM aplicables.

Existen otros métodos no normalizados que en esencia consisten en someter el geotextil a ataque químico con diferentes reactivos a diferentes concentraciones y a diferentes temperaturas durante lapsos de observación variables, comparando los cambios existencias al cabo del lapso de observación por medio de alguna prueba mecánica.

En todos estos casos es importante tener en mente que, si bien efectivamente el ataque químico puede acelerarse mediante incremento en la concentración del agente químico o mediante el ensaye a temperaturas elevadas, definitivamente no se conoce ninguna correlación de ningún tipo, que permita extrapolar los resultados de una prueba acelerada al comportamiento en condiciones normales, por lo que todo este tipo de pruebas sólo proporcionan índices cuya aproximación depende del grado en que las condiciones empleadas para acelerar los resultados no alteren el mecanismo de la reacción química entre el reactivo y el polímero. Lo anterior, en base a que los productos orgánicos, tales como los polímeros pueden seguir diferentes rutas de reacción químico de acuerdo con agentes externos como la temperatura, presión, concentración, agitación mecánica, sustancias catalizadoras, etc.

2.4.2 RESISTENCIA AL ATAQUE BIOLÓGICO

El método CGSB 4-GP-2 titulado "Burial deterioration of fabrics", elaborado por la división química del Consejo Nacional de Investigación de Canadá, consisten en preparar muestras de textil de 12 cm x 12 cm, las cuales se entierran en el suelo, extrayendo especímenes cada 3 meses, los cuales se ensayan por una variante del método de resistencia al reventamiento para geotextiles reportado aquí, que es el método ASTM D-774, que también emplea el equipo Mullen.

No existe un método normalizado para geotextiles, seguramente por ser un hecho conocido que, por ejemplo las bacterias son selectivas en cuanto a las sustancias que utilizan de alimento y los plásticos no han estado presentes en el suelo por un lapso tan grande como para que se hallan desarrollado micro-organismos que se alimenten particularmente de ese tipo de sustancia. Además, la propiedad de imputrescibilidad de la mayor parte de los plásticos es bien conocida, dada su permanencia en basureros sin reciclarse al entorno.

2.4.3 RESISTENCIA A LA TEMPERATURA

Debido a que el proceso de orientación, puede perderse al someter al geotextil a temperaturas cercanas a su temperatura de ablandamiento y con ello se vería afectada en forma definitiva la resistencia mecánica del material, es recomendable que en aquellas aplicaciones, tales como al aplicar esfuerzo de geotextil sobre carpetas asfálticas, en las cuales sobre la tela se aplica un producto (como el cemento asfáltico) caliente, se tome la precaución de mantener un diferencial de cuanto menos 20°C entre la temperatura del producto cliente y la temperatura de ablandamiento del sustrato. El polipropileno se derrite a los 165°C y el poliéster a los 250°C. Para determinar la resistencia de los plásticos a la temperatura, existe el método ASTM D-794, el cual consiste en someter el polímero a altas temperaturas en un horno, pero esta prueba es más adecuada para representar en forma muy relativa el envejecimiento de productos de plásticos que van a estar expuestos a la intemperie durante toda su vida útil. Las bajas temperaturas pueden afectar la resistencia impacto y hacer quebradizos a los plásticos, pero esto es de mayor consideración para el caso de las geomembranas.

2.4.4 RESISTENCIA A LA LUZ SOLAR

Todos los plásticos presentan algún grado de sensibilidad a la luz ultravioleta, particularmente la de menor longitud de onda, la cual rompe los enlaces que mantienen unidas las cadenas de polímero, iniciando un proceso de degradación. El polipropileno es particularmente sensible. Para reducir dicho efecto, se agregan al polímero, durante el proceso de fabricación de los granulados que se mencionó páginas atrás, sustancias protectoras como el pigmento denominado negro de humo o bien agentes absorbentes de la radiación.

La prueba utilizada para evaluar la degradación de geotextiles por radiación solar se denomina ASTM D-4355, la cual utiliza el Arco de Xenón como fuente de radiación; el procedimiento consiste en someter la muestra de geotextil a tiempo de exposición de 150, 300 y 500 horas, obteniéndose una curva que permite juzgar el grado de degradación. Evidentemente el resultado es una indicación muy relativa de la resistencia a la radiación del geotextil, pues en condiciones reales, la degradación depende de muchos factores, como pueden ser la ubicación geográfica, época del año, temperatura, humedad, cantidad de nubes presentes, viento, etc.

CAP III

MÉTODOS DE DISEÑO DE GEOTEXTILES

3.1 DISEÑO POR COSTO

Es el método más sencillo de aplicar pero el menos recomendable, ya que no tiene ningún fundamento ingenieril.

Se trata de dividir el presupuesto disponible entre el área de proyecto y compararlo con el precio unitario del geotextil, para escoger un geosintético cuyo costo sea igual o menor.

3.2 DISEÑO POR ESPECIFICACIÓN

Esta es una alternativa al diseño por función, siendo el mas aceptado por instituciones de otros países.

Las propiedades de los geotextiles se comparan con las especificaciones técnicas exigidas en un determinado proyecto.

Existiendo la posibilidad de que sean varios los geotextiles que cumplen, entonces se reduce a hacer una selección de acuerdo al menor costo.

Los valores tomados en cuenta para esta comparación deben ser los valores mínimos ya que las especificaciones también dan valores mínimos para un determinado diseño.

3.3 DISEÑO POR FUNCIÓN

Este concepto es uno de los más modernos para realizar diseños de sistemas geotécnicos que incluyen geotextiles. Se basa en criterios usuales de Ingeniería, que establecen relaciones numéricas entre valores permitidos para determinada propiedad del geosintético y los valores requeridos de esa propiedad, de acuerdo a cierto método de cálculo. Con la relación de dichos valores se obtienen Factores de Seguridad que se comparan con el Factor de Seguridad deseado. Lo anterior se muestra en la Ecuación 1.

Los denominados “valores permitidos” son las propiedades del geotextil que se considera en el diseño, mismos que pueden ser obtenidos mediante ensayos de laboratorio. Algunas de estas propiedades se obtienen para el geotextil aislado y otras se obtienen en ensayos de sistemas geotextil - suelo o geotextil -agregado.

De estos ensayos, existen algunos que sólo representan un índice pero que a cambio son relativamente económicos y de fácil realización, con equipo convencional. Así mismo, existen otros que sí reproducen en forma adecuada el funcionamiento del geotextil, pero que requieren equipos más complicados, de mayor costo o que requieren de lapsos de observación prolongados.

Los valores requeridos se obtienen mediante cálculos usuales para sistemas tradicionales que han sido modificados para incorporar la contribución del geotextil. En ocasiones, debido a contribuciones de diferentes investigadores, existen varios métodos para su cálculo.

La Ecuación general correspondiente al diseño por función se muestra a continuación:

$$F.S. = \frac{\text{Valor de la Propiedad Permisible}}{\text{Valor de la Propiedad Requerida}} \quad \text{Ec (1)}$$

donde F.S. es el Factor de Seguridad.

Uno de los problemas del Diseño por Función es que se requiere contar con información de las propiedades de los materiales y los geotextiles son productos que, dada su relativamente corta existencia en la industria, aún se encuentran en etapa de desarrollo y normalización, existiendo pocas pruebas generalmente aceptadas que proporcionen información real del comportamiento de ellos, en cambio, el número de métodos para determinar valores índice es mucho mayor. Otra limitante es que, aún existen algunas funciones de dichos materiales, para las cuales se han postulado teorías del funcionamiento, no existiendo consenso de cual es la más correcta. Este puede ser el caso de la aplicación de filtración, como se mostrará más adelante.

Como consecuencia de lo anterior, a menudo se publican factores de seguridad deliberadamente altos. (Koerner, 1990). En la tabla III-1 se muestran ejemplos de lo anterior.

Se reconoce que debido a lo particular de cada aplicación, el ingeniero debe emplear al criterio para determinar el factor de seguridad más adecuado.

Para el uso de la tabla III-1, se pueden determinar factores de seguridad compuestos, de la forma siguiente:

Para el caso se determinar la Resistencia a la Tracción de un geotextil, modificada para compensar la falta de representatividad de las condiciones de campo de la prueba mediante la cual se hace la determinación, al valor que se obtiene mediante dicha prueba, se modifica, para obtener la resistencia a la tracción permisible, como se explica en la Ecuación (2):

Tabla III-1. Factores de Seguridad, en Función del uso de Geotextiles. (koerner, 1990).

Aplicación	Daños por instalación	Elongación a alargo plazo	Deterioro Químico	Deterioro Biológico
Separación	1.1 – 2.5	1.0 – 1.2	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2
Caminos revestidos	1.1 – 2.0	1.5 – 2.5	1.0 – 1.5	1.0 – 1.2
Muros de Contención	1.1 – 2.0	2.0 – 4.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3
Ferrocarriles	1.5- 3.0	1.0 – 1.5	1.5 – 2.0	1.0 – 1.2
Terraplenes	1.1 – 2.0	2.0 – 3.0	1.0 – 1.5	1.0 – 1.3

$$T_{perm} = T (1 / FS_{di} FS_e FS_{dq} FS_{db}) \quad Ec (2)$$

Donde:

- T_{perm} : es el valor que se utilizaría en Ec. (1), en el numerador.
- T : es el resultado obtenido mediante la prueba y que se desea corregir
- $FS_{di} FS_e FS_{dq} FS_{db}$: son los factores de seguridad parciales, por daños de instalación, elongación a largo plazo, daño químico y deterioro biológico.

El ejemplo es aplicable a otras propiedades mecánicas relacionadas con las áreas de aplicación mencionadas en la tabla III-1 y otras semejantes.

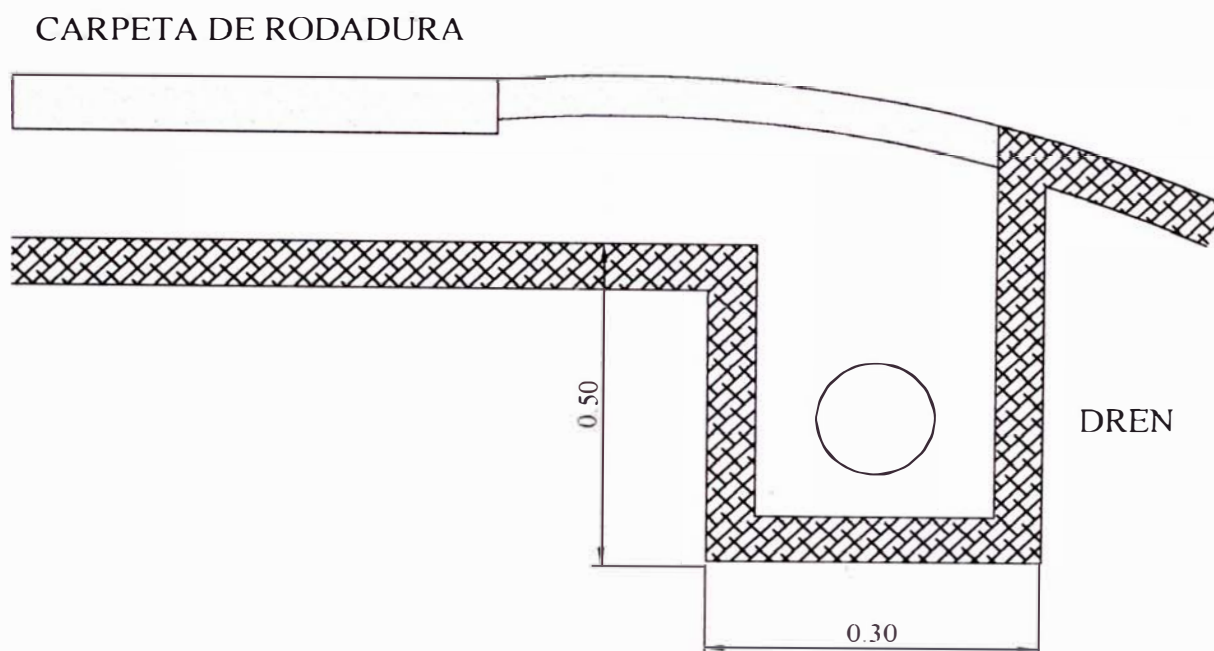
Como es obvio, este tipo de corrección es arbitrario, pero se utiliza a falta de datos adecuados. Por lo anterior, se sugiere precaución al emplear el método.

Otro elemento necesario para poder asignar los factores de seguridad mencionados, es un conocimiento adecuado de los diferentes métodos de prueba más comunes utilizados para el ensayo de geotextiles.

3.3.1 EJEMPLO DE DISEÑO POR FUNCIÓN

Ejemplo en sub-drenes en carreteras

Para el subdren de una carretera, construido con grava mal graduada que rodea a un tubo perforado, determinar si un geotextil fabricado por el método de entrelazado mecánico, con $K = 0.381 \text{ cm/seg.}$, espesor $t = 0.114 \text{ cm}$, y AOS equivalente a la malla 100 U.S. Standard, es adecuado para manejar el flujo esperado, que será de $147 \text{ cm}^3 / \text{seg.}$ El textil deberá también evitar que partículas del suelo, que es un limo arenoso, con $d_{10} = 0.006 \text{ mm}$, $c_u = 5.5$, $k = 1.31 \times 10^{-3} \text{ cm/seg.}$ y se encuentra en un estado de compacidad intermedia, de 85, penetra los espacios abiertos de la grava y reduzca su permeabilidad.



Solución :

a) Condición de suficiente permeabilidad

Primero, es necesario calcular la permitividad requerida en el sistema :

$$q = kiA = k \frac{\Delta H}{t} A$$

de donde : $\frac{k}{t} = \frac{q}{\Delta H A} = 0.000147 / (0.5) (0.3 \times 1)$

$$\psi_{req} = 0.00098 \text{ seg}^{-1}$$

Ahora se debe calcular la permitividad que posee el geotextil:

$$\psi_g = \frac{k_{\text{geotextil}}}{t_{\text{geotextil}}}$$

$$\psi_g = 0.381 \text{ cm seg}^{-1} / 0.114 \text{ cm}$$

$$\psi_g = 3.334 \text{ seg}^{-1}$$

Este factor se debe corregir por daños de instalación elongación a largo plazo, deterioro químico y deterioro biológico de acuerdo a la Ec. 2 así:

$$\psi_{\text{perm}} = 3.34 [1/(2) (1.5) (2.5) (1.1)]$$

$$\psi_{\text{perm}} = 3.34 / 8.25 = 0.4 \text{ seg}^{-1}$$

Con lo anterior, es posible calcular el Factor de Seguridad:

$$FS = \frac{\psi_{\text{perm}}}{\psi_{\text{req}}}$$

$$FS = 0.40 / 0.00098$$

$$FS = 408$$

Por lo que concluye que el geotextil propuesto es adecuado para el caso de suficiente permeabilidad.

b) Condición de Retención

La contaminación puede llevarse a cabo con el limo arenoso que compone el suelo.

Se aplicará el criterio siguiente, propuesto por Giroud (8):

$$O_{95} < 18 d_{50} / CU \quad \text{y} \quad CU = d_{60} / d_{10}$$

$$\text{por lo tanto : } d_{60} = (5.5)(0.006)$$

$$d_{60} = 0.033 \text{ mm}$$

y por aproximación, se establece que $d_{50} = 0.030 \text{ mm}$

y aplicando el criterio seleccionado se tiene que:

$$O_{95} = (18)(0.03) / 5.5$$

$$O_{95} = 0.098 \text{ mm}$$

El número de malla con abertura más próxima a la obtenida, corresponde al N° 140, equivalente a 0.106 mm, así, AOS del geotextil debe ser el N° 140 o un número mayor. Como AOS de dicho material es el N° 100 ($O_{95} = 0.15 \text{ mm}$), se concluye que es necesario optar por otro geotextil que cumpla con la condición de retención indicada.

CAP IV

APLICACIÓN DE LOS GEOTEXILES EN VIAS – SEPARACIÓN Y REFUERZO

4.1 GENERALIDADES

Uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia es el deterioro prematuro de las vías, causado por diversos factores relacionados con las características y propiedades de los materiales que conforman la estructura de la vía y con las condiciones de carga que sobrepasan los valores de diseño. Desde el punto de vista estructural, la contaminación de la(s) capa(s) granular(es), la mezcla de suelos de diferentes características y el comportamiento mecánico del suelo de subrasante son factores de gran influencia en el deterioro de las vías, lo que se traduce en una reducción de la capacidad portante de todo el sistema. La metodología tradicional de diseño de vías contempla un espesor adicional de material granular para compensar el

material que se mezcla y se contamina con el suelo de subrasante, perdiendo todas sus propiedades y características iniciales; sin embargo estos diseños no tienen en cuenta el mismo proceso que se desarrolla a largo plazo y que trae como consecuencia un deterioro de las capas que conforman la estructura y una disminución considerable del período de vida útil establecido.

El desarrollo de la ingeniería ha introducido nuevas técnicas y tecnologías en el diseño y la construcción de obras civiles mejorando sus especificaciones y características a corto y largo plazo, aumentando la vida útil y buscando un equilibrio en los factores económicos que en muchos casos representan una disminución de costos. Específicamente, la utilización de los geotextiles como una capa de separación entre los suelos de subrasante y las capas granulares ha permitido mantener la integridad de los materiales y mejorar su funcionamiento, aumentando la vida útil de las estructuras. Esta capa de separación con geotextiles reemplaza el material adicional que se emplea en los diseños tradicionales que sólo tienen en cuenta el proceso de contaminación que se produce al inicio del período de servicio de la vía. Los geotextiles cumplen una función de separación de materiales y de estabilización de la subrasante durante toda la vida de la estructura de la vía, mejorando las condiciones de servicio y estabilidad de las obras, aumentando considerablemente el período de vida útil establecido en el diseño.

4.2 MECANISMOS DE FALLA

Los geotextiles proporcionan refuerzo al ocurrir tres posibles mecanismos de falla, que son:

4.2.1 REFUERZO LOCAL.-

Este concepto indica la capacidad del geotextil de oponerse a las fuerzas de penetración de agregado hacia el suelo de subrasante debido a las cargas vehiculares, proporcionando una resistencia puntual en la zonas donde el agregado entra en contacto directo con la subrasante. Este mecanismo se puede apreciar en la Gráfica N°4.1

Los resultados de este mecanismo se podrían observar si excavamos una parte del pavimento donde se ha colocado el geotextil y apreciamos que el agregado grueso se mantuvo por encima del geotextil y sus partículas no ingresaron al suelo de subrasante, situación que por lo general es la causante de la disminución de la capacidad de soporte del material granular.

4.2.2 RESTRICCIÓN LATERAL.-

Este mecanismo de geotextil, proporciona refuerzo al agregado. Los ahuellamientos que se presentan en la vía son una manifestación de esta situación.

La gráfica N°4.2 muestra como el geotextil, colocado a una profundidad adecuada, interfiere al plano normal de falla, proporcionando una restricción horizontal al movimiento agregado.

Por lo antes dicho, es de suponer que el geotextil proporciona un incremento en la capacidad de soporte y del módulo de deformación del agregado.

Entonces la resistencia del agregado a la deformación se incrementa lo mismo que los módulos de deformación del material colocados encima y debajo del geotextil, reduciendo la magnitud de los esfuerzos transmitidos al suelo.

4.2.3 EFECTO MEMBRANA.-

En el plano donde se ubica el geotextil, se desarrolla una tensión debido a la magnitud de los esfuerzos transmitidos por las cargas vehiculares, los cuales producen una deformación en los suelos que se encuentran debajo de la tela.

El efecto membrana, es básicamente representado por los esfuerzos verticales ascendentes, como se muestra en la Gráfica N°4.3, que aportan una capacidad de soporte al suelo.

Solo los geotextiles más resistentes proporcionan un refuerzo vertical sin grandes deformaciones.

4.3 FUNCIONES DE LOS GEOTEXTILES

Son varias las funciones de los geotextiles y varían según el campo de aplicación en que son utilizados. En el caso de las estructuras de vías, los geotextiles cumplen dos funciones esenciales: separación y refuerzo. En este documento se presenta la metodología de diseño para emplear un geotextil como separación del suelo de subrasante y la(s) capa(s) granular(es) y como factor de estabilización de la subrasante.

Para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación entre un suelo de subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%. En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo. Cuando el CBR es menor que 3% el geotextil sufre grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación. En los casos en que el CBR de subrasante sea menor a 3% se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil como separación en la interfaz subrasante - capas granulares, a continuación se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características y comportamiento, y de cómo el geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

La función de separación que cumple un geotextil es mantener la integridad y el buen funcionamiento de dos suelos adyacentes con propiedades y características diferentes. En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (base, subbase, relleno) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

1. Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.

2. Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

El geotextil se traduce en una barrera para la migración de partículas entre los dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo y evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido (Ver especificaciones técnicas de los geotextiles), bajo concentraciones de esfuerzos locales causadas por irregularidades en el suelo de fundación.

4.4 CONDICIONES DE SUBRASANTE DONDE SE APLICA REFUERZO

Las condiciones de suelos en las que se requiere la aplicación de un geotextil ya sean para refuerzo o separación son:

- Suelos débiles

SUCS SC, CL, CH, ML, MH, OL, OH, Y PT

AASTHO : A-5, A-6, A-7-5, Y A-7-6

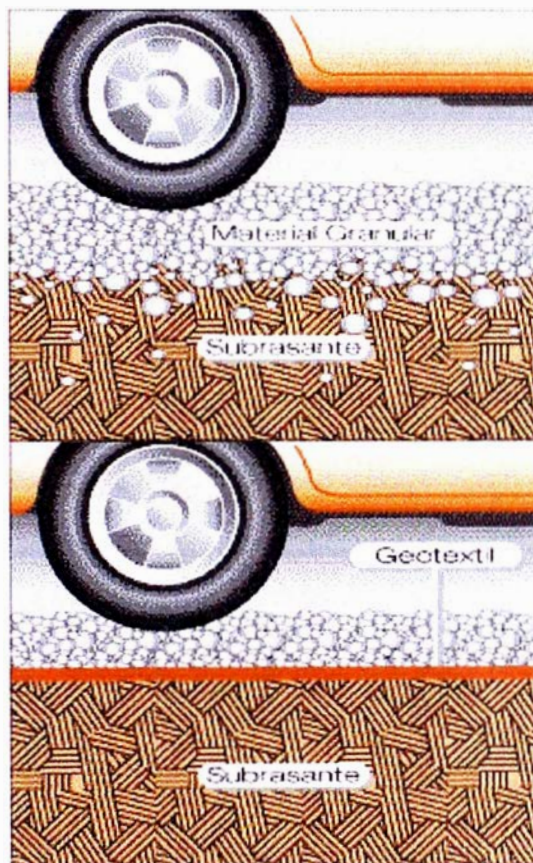
- Baja resistencia al esfuerzo cortante

Tf Cu < 90 KPa

CBR < 3%

MR = 30 Mpa

- Napa freática alta
- Alta sensibilidad del suelo



Bajo estas condiciones, los geotextiles funcionan principalmente como separadores o filtros estabilizando la subrasante, mejorando las condiciones de construcción y permitiendo mejorar la resistencia de la subrasante a largo plazo.

De acuerdo a la resistencia de la subrasante se aplica el geotextil con una función específica, según el Gráfico N°4.4, los geotextiles no proporcionan una función de refuerzo útil cuando la resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje es mayor a 90 Kpa (CBR alrededor de 3%).

Los suelos arcillosos con resistencias al esfuerzo cortante sin drenaje de 90 Kpa son considerados arcillas rígidas y generalmente materiales bastante buenos para cimentación, si no entra en contacto con el agua. La distribución de esfuerzos para cargas estáticas, fácilmente podría soportar cargas de magnitud razonable de camión y presiones de llanta, aún bajo bases granulares relativamente delgadas.

Probablemente, ocurrirá alguna deformación de baches, especialmente después de miles de pasadas. Si el tráfico es limitado, como es el caso de muchos caminos temporales, las máximas deflexiones permitidas serán de 75 milímetros.

4.5 APLICACIÓN EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS

El uso combinado de suelo (bueno en compresión, malo en tracción) y un geotextil (bueno en tracción y malo en compresión) hace realidad que este sistema suelo-geotextil trabaje mejor.

La capa que conforma un camino no pavimentado es únicamente la de un agregado granular, colocado encima del geotextil y este a la vez encima de la subrasante. En el Perú hay muchos kilómetros de caminos no pavimentados, caminos de acceso y similares, con ningún afirmado permanente sobre ellos.

Es importante, saber que la deformación mínima de la subrasante es el detonante para que la función de refuerzo inicie su aplicación y el geotextil actúe básicamente en su propiedad de tracción.

Reafirmando, entonces los suelos con capacidad de soporte menores al 3% siempre necesitarán un refuerzo, ya sea con geotextil o cualquier otro geosintético. Para suelos con CBR mayores a 10% el aporte será despreciable para condiciones de diseño, en tal situación la función que cumpla mejor será la de separación.

Para suelos con valores intermedios de CBR entre 3% y 10% la situación es muy específica según el lugar (muchos fabricantes se refieren al caso de $3 < \text{CBR} < 8$ donde el geotextil sirve como un tejido de estabilización).

Además de ello, a medida que la resistencia del suelo disminuyen por debajo de 3%, la resistencia del geotextil entrará dentro de una plena utilización. El límite menor del CBR para que el geotextil siga funcionando es aproximadamente de 0.25%, menos que este valor el geotextil no proporcionará un reforzamiento exitoso.

4.6 APLICACIÓN EN CAMINOS PAVIMENTADOS

Una vía pavimentada, es una estructura que soporta el paso de grandes cargas vehiculares y transmite esta carga además de su peso propio al suelo de fundación, entonces es de vital importancia analizar los problemas que puede ocasionar un suelo con características deficientes, como es el caso de suelos blandos con baja capacidad

de soporte, poca resistencia al corte, alta compresibilidad o grandes contenidos de agua.

La utilización de un geosintético o de un geotextil, para la presente investigación, colocado en la interface-subrasante (Gráfica N°4.5), origina que se corte el plano de falla, es por esta razón que los geotextiles usados para esta función tienen características como una alta tenacidad, baja elongación, alrededor del 10% de su elongación máxima.

En situaciones en que la subrasante no sea un suelo tan blando, la función del geotextil pasará de refuerzo a estabilización, que se entiende como una buena distribución de los esfuerzos, controlando los asentamientos del terraplen, ya que contribuye a que la estructura trabaje como una unidad.

Los objetivos que persigue la utilización de un geotextil de refuerzo son los siguientes:

- ❖ Incrementar la rigidez inicial del pavimento
- ❖ Reducir la magnitud de la deformación a largo plazo
- ❖ Incrementar la resistencia a la alta tensión.
- ❖ Retardar y reducir los agrietamientos (tema referentes a refuerzo de capeta asfáltica).
- ❖ Mejorar el comportamiento bajo efectos de fatiga.
- ❖ Mantener la estructura interna formada por los agregados naturales.

- ❖ Reducir los costos de mantenimiento y de operación del pavimento, al prolongar su vida útil.

Jarrent y Robertt, realizaron pruebas de laboratorio midiendo las deflexiones en suelos blandos con y sin refuerzo de geotextiles, de diferentes propiedades y concluyeron, entre otras cosas, que los geotextiles con menor potencial de alargamiento (Mayor Módulo) son los que más contribuyen al refuerzo.

Jarrentt confirma las investigaciones de Brooms y Haliburton de que para que el geotextil proporcione un refuerzo significativo, debe estar colocado a la profundidad óptima en un sistema agregado-geotextil-suelo.

La necesidad de que el geotextil se deforme para proporcionar refuerzo mediante el Efecto Membrana, condujo a la elaboración de procedimientos constitutivos donde el geotextil se somete a deformación durante la construcción, para poder ser utilizado en una carretera pavimentada.

La asociación of Higway and Trasportation Ofiicials (AASHTO) subcommitte on materials, Technical Section 4E, está desarrollando especificaciones para geomallas y geotextiles para cumplir la función de Refuerzo con al apoyo de los Miembros de la Industrial Fabrics Association International's Geosyntetics Material Association (GMA).

Esta investigación incluye además la determinación de un Coeficiente estructural de capa cuando se coloque un geogrid en una determinada capa del pavimento.

Como es de suponer las investigaciones realizadas hasta ahora y en el futuro estarán encaminadas a que la estructura beneficiada tenga en un futuro un mejor comportamiento geotécnico.

La mejora de este comportamiento con la investigación conlleva también a disminuir los costos de inversión en la construcción, que es el objetivo fundamental desde el punto de vista económico.

Para la investigación mencionada la finalidad o beneficio económico radicará en disminuir el espesor de la capa de material granular, ya sea base o subbase, lo que significara un ahorro sustancial en el uso de material granular, su transporte y su tratamiento, que se resume en ahorro económico.

Este parámetro aún en investigación se incluirá en la Educación para determinar el Número Estructural (SN), y es denominado LCR.

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 * LCR + a_3 * d_3 * m_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes Estructurales para cada capa. De acuerdo a la Guía AASHTO Fig. 2.5 (a1) FG. 2.7(a1).

m_2, m_3 : Coeficientes de Drenaje para capa Base y Sub-base respectivamente. De acuerdo a la guía AASHTO Tabla 2.4.

d_1, d_2, d_3 :Espesor de la Carpeta Asfáltica y Bases granulares.

LCR :Coeficiente Estructural cuando se incluye un geogrid.

Este valor cuando se incluye en la ecuación podría incrementar el coeficiente estructural global de la capa en 1.2 a 1.7 veces, que cuando no se utiliza refuerzo.

La finalidad de estas investigaciones está limitada a demostrar de alguna manera que la utilización del geotextil aporta un refuerzo, lo que se traducirá en el hecho de mejorar los costos de construcción, alargar la vida útil del pavimento y reducir costos de mantenimiento.

4.7 METODOLOGÍA DE DISEÑO (Diseño por función)

4.7.1 DISEÑO POR SEPARACIÓN.-

Este diseño permite escoger el tipo de geotextil adecuado para colocar en la interfaz subrasante - capa granular, que tiene como función principal la separación de suelos adyacentes con propiedades y características diferentes y la estabilización de la subrasante durante el período de vida útil de la estructura de una vía.

El diseño por funciones consiste en evaluar la principal función para la cual se utiliza el geotextil y calcular el valor requerido para esa propiedad en particular. En el caso del diseño por separación, se comparan las resistencias del geotextil con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad, obteniendo un factor de seguridad global FS_g

$$FS_g = \frac{\text{resistencia disponible (especificaciones laboratorio)}}{\text{resistencia requerida (especificaciones diseño)}} \quad FS_g > 1$$

donde :

Resistencia disponible: resultado de un ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto

Resistencia requerida: valor obtenido de una metodología de diseño que simula las condiciones reales del proyecto

Para los casos en que se determine el factor de seguridad global como parámetro de diseño, se calcula entonces la resistencia requerida (diseño) en función de las especificaciones del geotextil que se vaya a utilizar.

$$\text{Resistencia requerida} = \frac{\text{Resistencia disponible}}{FS_g}$$

Las especificaciones de los geotextiles se evalúan bajo condiciones ideales de laboratorio, lo que en algunos casos representa altos valores numéricos para el diseño. Los valores obtenidos en laboratorio se deben modificar para aplicarlos bajo las condiciones in situ de cada proyecto. Para tener en cuenta estos factores, se asume un factor de seguridad parcial FS_p que permite ajustar el valor último de laboratorio a las condiciones particulares del terreno, obteniendo un valor disponible que se aplicará en el diseño.

$$T_{allow} = \frac{T_{ult}}{FS_p}$$

$$FS_p = FS_{ID} \times FS_{CD} \times FS_{BD}$$

Donde :

T_{allow} : resistencia disponible para emplear en el diseño

T_{ult} : resistencia última obtenida en laboratorio

FS_p : factor de seguridad parcial

FS_{ID} : factor de seguridad por daños de instalación

FS_{CD} : factor de seguridad por degradación química

FS_{BD} : factor de seguridad por degradación biológica

Estos factores de seguridad varían según las funciones que vaya a cumplir el geotextil y las condiciones de cada proyecto en particular. En la Tabla IV-1 se presentan los valores que se emplean para el caso de la separación.

Tabla IV-1. Factores de Seguridad para función de separación

Factores de Seguridad

Area de aplicación	Daños por instalación	Degradación química	Degradación biológica
Separación	1.1 a 2.5	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2

a) Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

Entre las partículas del suelo granular que se coloca sobre el geotextil existen vacíos que permiten que el geotextil se introduzca entre ellas por la acción simultánea de las cargas de tráfico que son transmitidas hasta las capas granulares, al geotextil y al suelo de subrasante. Una vez sometido a esfuerzos, el suelo trata de empujar el geotextil por los vacíos de la capa granular. El geotextil que se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por estallido. El ensayo de resistencia al estallido (método Mullen Burst - Norma ASTM D3786) representa esta situación.

$$T_{req} = \frac{1}{2} p' d_v [f(\epsilon)]$$

$$T_{ult} = \frac{1}{2} p_{res} d_{res} [f(\epsilon)]$$

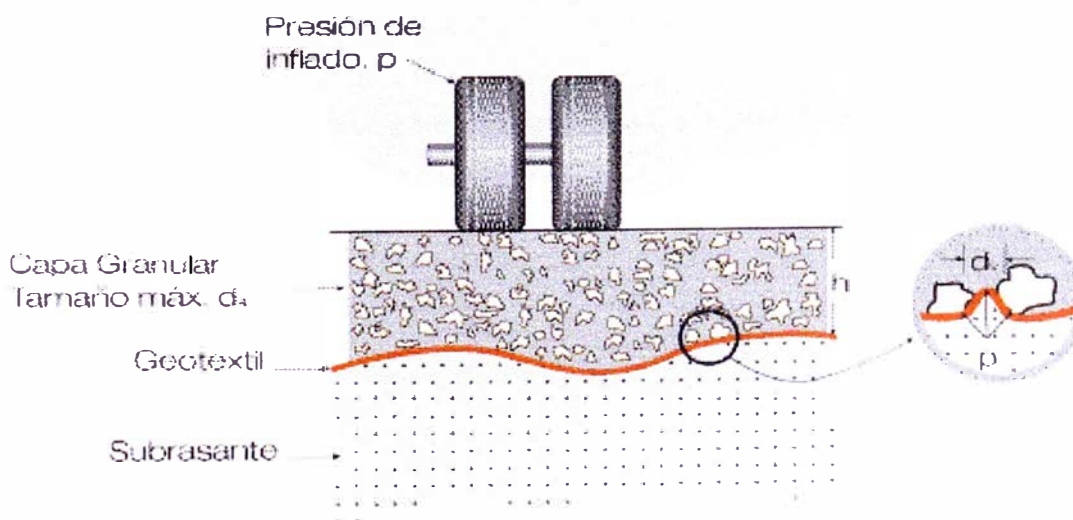


Figura 2. Geotextil de separación - Resistencia al estallido

donde :

T_{req} : resistencia requerida del geotextil (kPa)

p' : esfuerzo en la superficie del geotextil : $p' = p$ (kPa)

p : presión de inflado (kPa)

d_v : diámetro máximo de los vacíos: $d_v @ 0.33 d_a$ (mm)

d_a : diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)

$f(\epsilon)$: función de deformación (elongación) del geotextil

T_{ult} : resistencia última del geotextil (kPa)

p_{test} : presión del ensayo Burst (kPa)

d_{test} : diámetro del diafragma - ensayo Burst (= 30.48 mm)

Método 1: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado

⇒ T_{ult} conocido; calcular FS_g

$$FS_g = \frac{T_{allow}}{T_{req}}$$

$$T_{allow} = \frac{T_{ult}}{FS_p}$$

$$FS_g = \frac{p_{test} \times d_{test}}{FS_p \times p' \times d_v}$$

- Para: $FS_p = 1.5 \Rightarrow$ Ecuación del Factor de Seguridad

Global:

$$d_{test} = 30.48 \text{ mm } FS_g$$

$$d_v = 0.33 d_a$$

- Para: $FS_p = 2.0 \Rightarrow$ Ecuación del Factor de Seguridad

Global:

$$d_{test} = 30.48 \text{ mm}$$

$$d_v = 0.33 d_a$$

Método 2: Determinar la resistencia Burst requerida del geotextil para un factor de seguridad global FS_g establecido.

$\Rightarrow FS_g$ conocido; determinar $T_{req\text{diseño}}$

A continuación se presentan las gráficas que permiten determinar T_{req} de diseño del geotextil, asumiendo un factor de seguridad global $FS_g = 2.0$ y factores de seguridad parcial $FS_p = 1.5$ y $FS_p = 2.0$, para las condiciones definidas en el método 1.

Resistencia al estallido (Burst)

Carta de diseño ($FS_g = 2.0$; $FS_p = 1.5$)

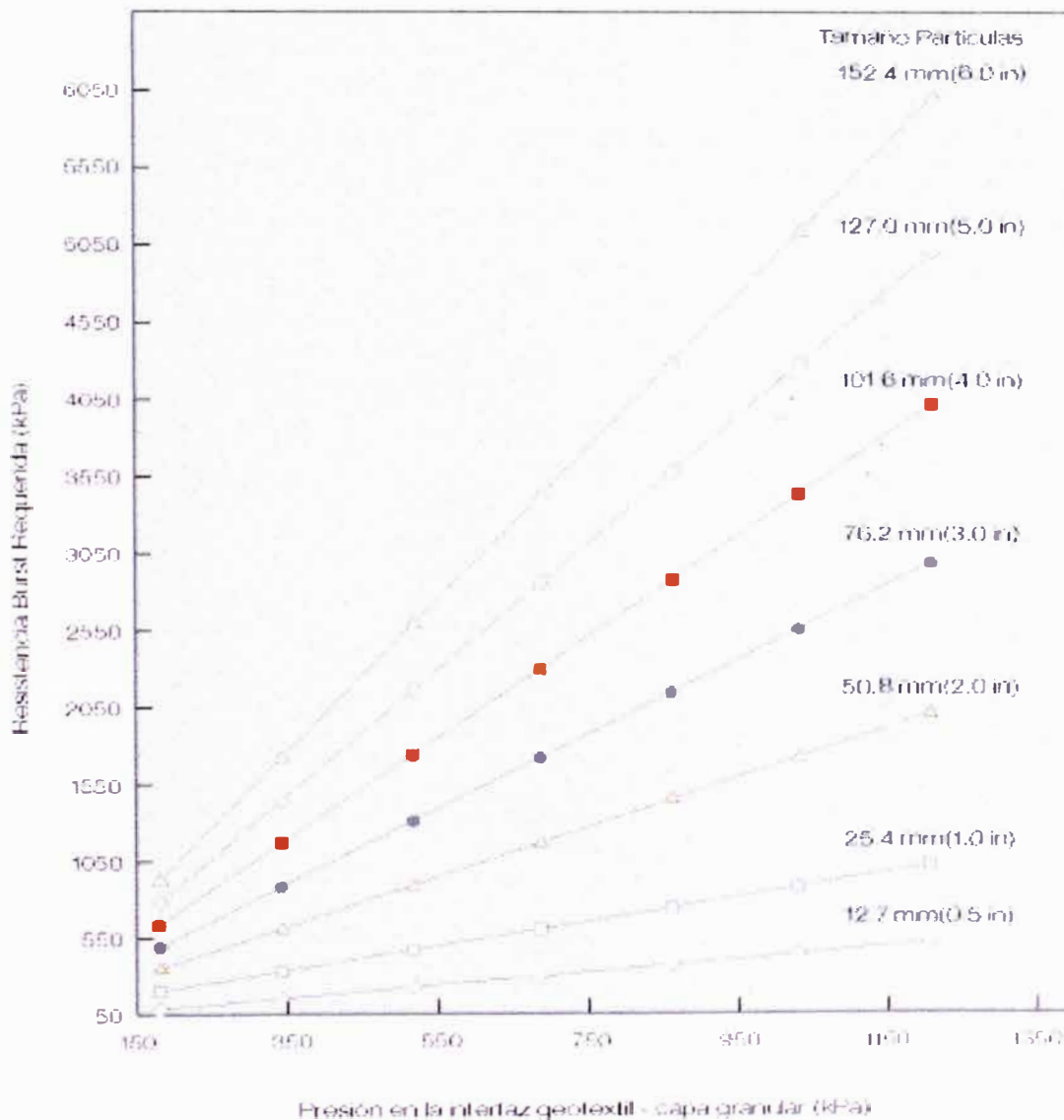


Figura 3. Presión vs Resistencia al estallido (BURST)

según el tamaño de agregado ($FS_g = 2.0$ $FS_p = 1.5$)

Resistencia al estallido (Burst)

Carta de diseño ($FS_g = 2.0$; $FS_p = 2.0$)

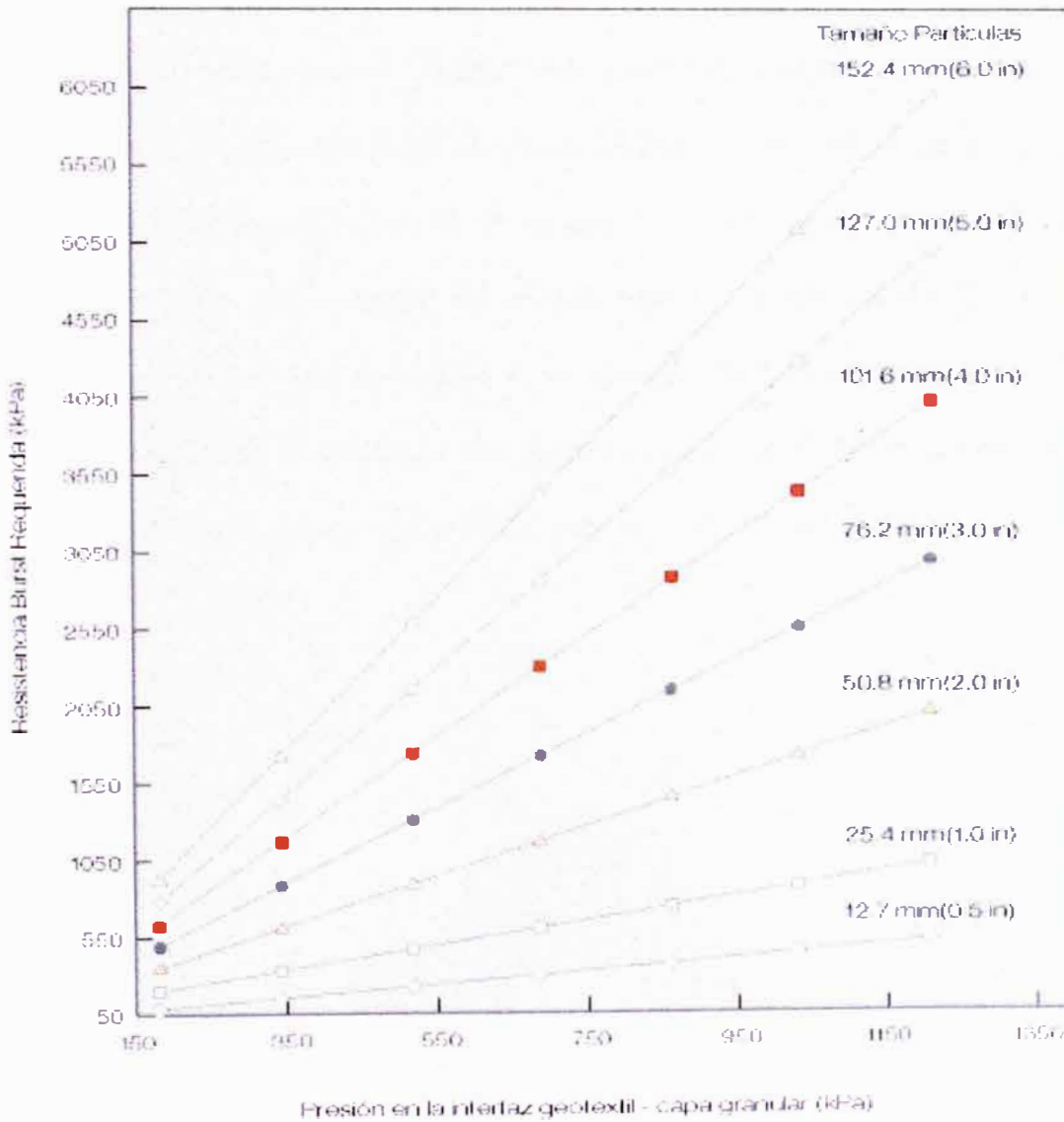


Figura 4. Presión vs Resistencia al estallido (BURST)

según el tamaño de agregado ($FS_g = 2.0$ $FS_p = 2.0$)

b) Resistencia a la Tensión (GRAB)

Existe otro factor que actúa sobre el geotextil al mismo tiempo que su tendencia al estallido: es el esfuerzo de tracción que se genera en el geotextil en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil está "atrapado" por una capa granular y un suelo de subrasante. Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano (Figura 5). El ensayo de tensión según el método Grab (ASTM D4632) simula este proceso en el laboratorio, determinando la carga de rotura (resistencia Grab) del geotextil y su elongación correspondiente (deformación - elongación Grab). El geotextil que se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por tensión.

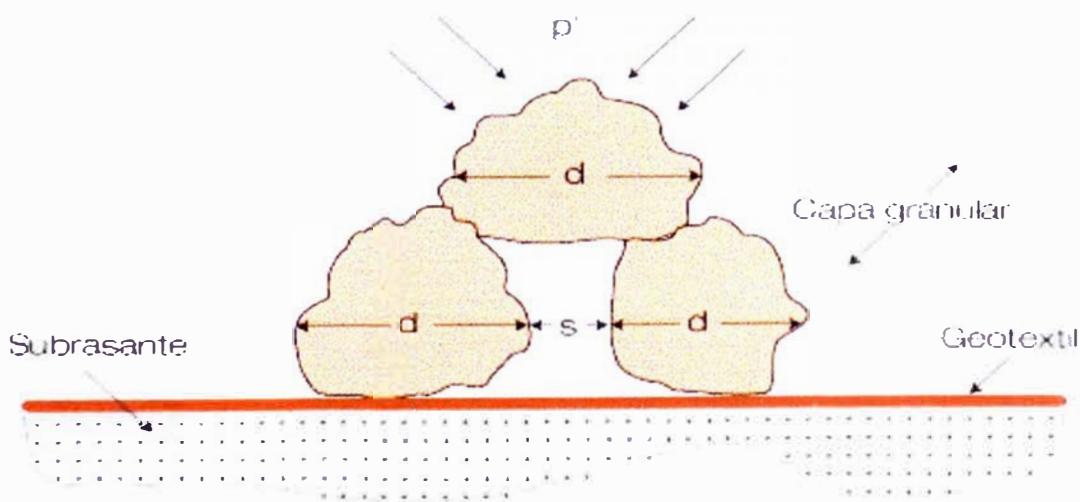


Figura 5. Geotextil de separación - Resistencia a la tensión (GRAB)

donde :

T_{req} : resistencia Grab requerida (N)

p' : presión aplicada (kPa)

d_v : diámetro máximo de los vacíos : $d_v \cong 0.33 d_a$ (mm)

d_a : diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)

$f(\varepsilon)$: función de deformación (elongación) del geotextil

Método: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado

$\Rightarrow T_{ult}$ conocido; calcular FS_g

$$FS_g = \frac{T_{allow}}{T_{req}}$$

$$T_{allow} = \frac{T_{ult}}{FS_p} \Rightarrow FS_g = \frac{T_{ult}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} \times (d_v)^2 \times f(\varepsilon)}$$

Entonces la ecuación del Factor de Seguridad Global es:

$$FS_g = \frac{T_{ult}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} \times (0.33d_a)^2 \times f(\varepsilon)} \Rightarrow FS_g > 1$$

Tabla IV-2. Valores de $f(\epsilon)$

$\xi(\%)$	$f(\epsilon)$	$\xi(\%)$	$f(\epsilon)$
0	•	25	0.55
2	1.47	30	0.53
3	1.23	35	0.52
4	1.08	40	0.51
5	0.97	45 - 70	0.50
6	0.90	75	0.51
8	0.80	90	0.52
10	0.73	100	0.53
12	0.69	110	0.54
15	0.64	120	0.55
20	0.58	130	0.56

c) Resistencia al Punzonamiento

Además de cumplir la función de separación, el geotextil debe resistir el proceso de instalación sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes. Así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetos que se encuentren sobre el suelo (subyacente) que quede en contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo cuando se coloque

la capa granular y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura. Se debe calcular la fuerza vertical que actuará sobre el geotextil, bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere. El ensayo de resistencia al punzonamiento ASTM D4833 simula esta condición en laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tiene un geotextil bajo la acción de punzonamiento.

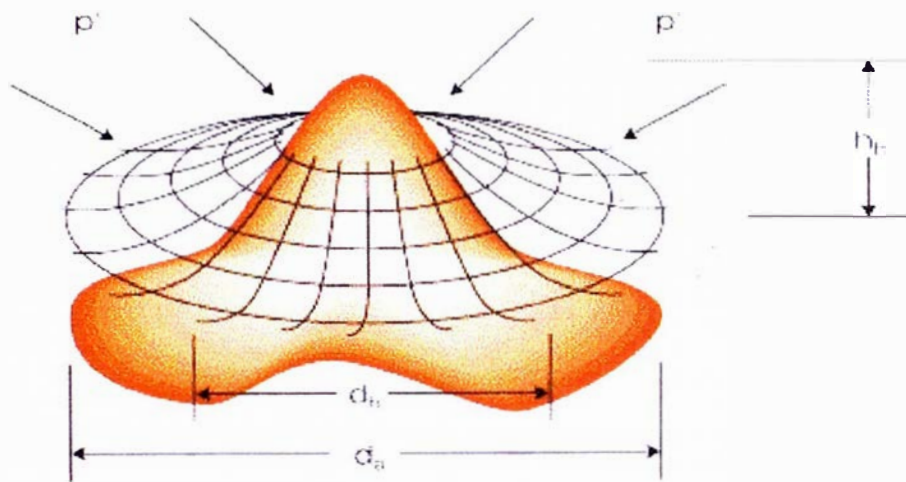


Figura 6. Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil

$$F_{req} = \frac{1}{39.36} p' d_a^2 S_1 S_2 S_3$$

donde :

F_{req} : fuerza vertical que el geotextil debe resistir (N)

p' : esfuerzo en la superficie del geotextil: $p' = p$ (kPa)

p : presión de inflado (kPa)

d_a : diámetro máximo de las partículas de agregados o de partículas angulares (mm)

S_1 : factor de punzonamiento (empuje) del suelo o partículas subyacentes al geotextil

$$S_1 = h_{h/d_a}$$

altura de empuje: $h_{h \leq d_a}$

S_2 : factor de escala para ajustar el diámetro del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833 (5/16 in) al diámetro de la actual partícula punzonante: $S_2 = 0.31/d_a$

S_3 : factor de forma para ajustar la forma del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833 a la forma de la actual partícula punzonante: $S_3 = 1 - A_p/A_c$

A_p : área proyectada de la partícula S

A_c : área del menor círculo circunscrito

Tabla IV-3. Valores de A_p/A_c

Descripción	A_p/A_c
Arena Ottawa	0.8
Grava	0.7
Roca triturada	0.4
Roca extraída por medio de dinamita	0.3

Método 1: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado

⇒ T_{ult} F_{ult} conocido; calcular FS_g

$$FS_g = \frac{F_{allow}}{F_{req}}$$

$$T_{allow} = \frac{F_{ult}}{FS_p} \Rightarrow FS_g = \frac{F_{ult}}{FS_p F_{req}}$$

Entonces la ecuación del Factor de Seguridad Global en unidades del Sistema Internacional es:

$$FS_g = \frac{F_{ult} \times 39.36}{FS_p p' d_a^2 S_1 S_2 S_3} \Rightarrow FS_g > 1$$

donde: F_{ult} (N)

p' (kPa)

d_a (mm)

Método 2: Determinar la resistencia al punzonamiento requerida del geotextil para un factor de seguridad global FS_g establecido.

⇒ FS_g conocido; determinar $F_{reqdiseño}$

Si se asume que se coloca una capa de material granular con partículas angulares sobre el geotextil, de tal forma que:

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 0.31/d_a$$

$$S_3 = 0.5$$

Entonces la resistencia al punzonamiento requerida para esas condiciones es:

$$F_{req} = \frac{0.0512}{39.36} p' d_a \Rightarrow F_{req} = 1.3 \times 10^{-3} p' d_a$$

Para determinar la resistencia al punzonamiento requerida para el diseño bajo las condiciones establecidas se tiene:

$$FS_g = \frac{F_{ult}}{FS_p F_{req}} \Rightarrow F_{ult} = FS_g FS_p (1.3 \times 10^{-3} p' d_a)$$

A continuación se presentan las gráficas 7 y 8 que permiten determinar F_{ult} de diseño del geotextil, asumiendo un factor de seguridad global

$FS_g = 2.0$ y factores de seguridad parcial $FS_p = 1.5$ y $FS_p = 2.0$, para las condiciones definidas.

d) Criterio de Retención (TAA)

El criterio de retención por Tamaño de Abertura Aparente (TAA) permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares.

$$TAA < D_{85} \times B$$

Donde:

TAA: Tamaño de Abertura Aparente del geotextil ($TAA = O_{95}$).

Ensayo ASTM D4751

D_{85} : Tamaño de partículas del suelo que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado (curva granulométrica).

B: Coeficiente que depende del tipo de suelo en contacto con el geotextil.

Fig- 7 :Resistencia al Punzonamiento

Carta de diseño $FS_g = 2.0$; $FS_p = 1.5$

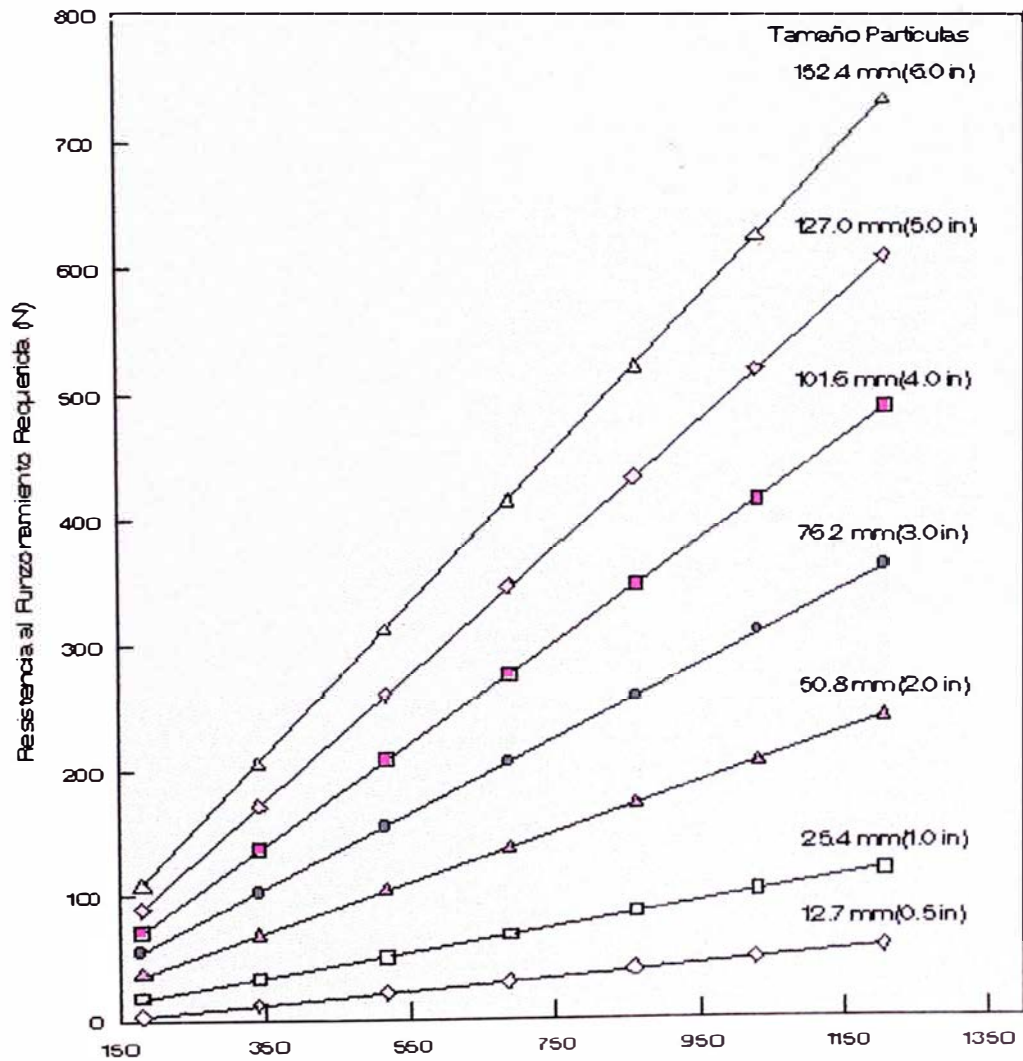
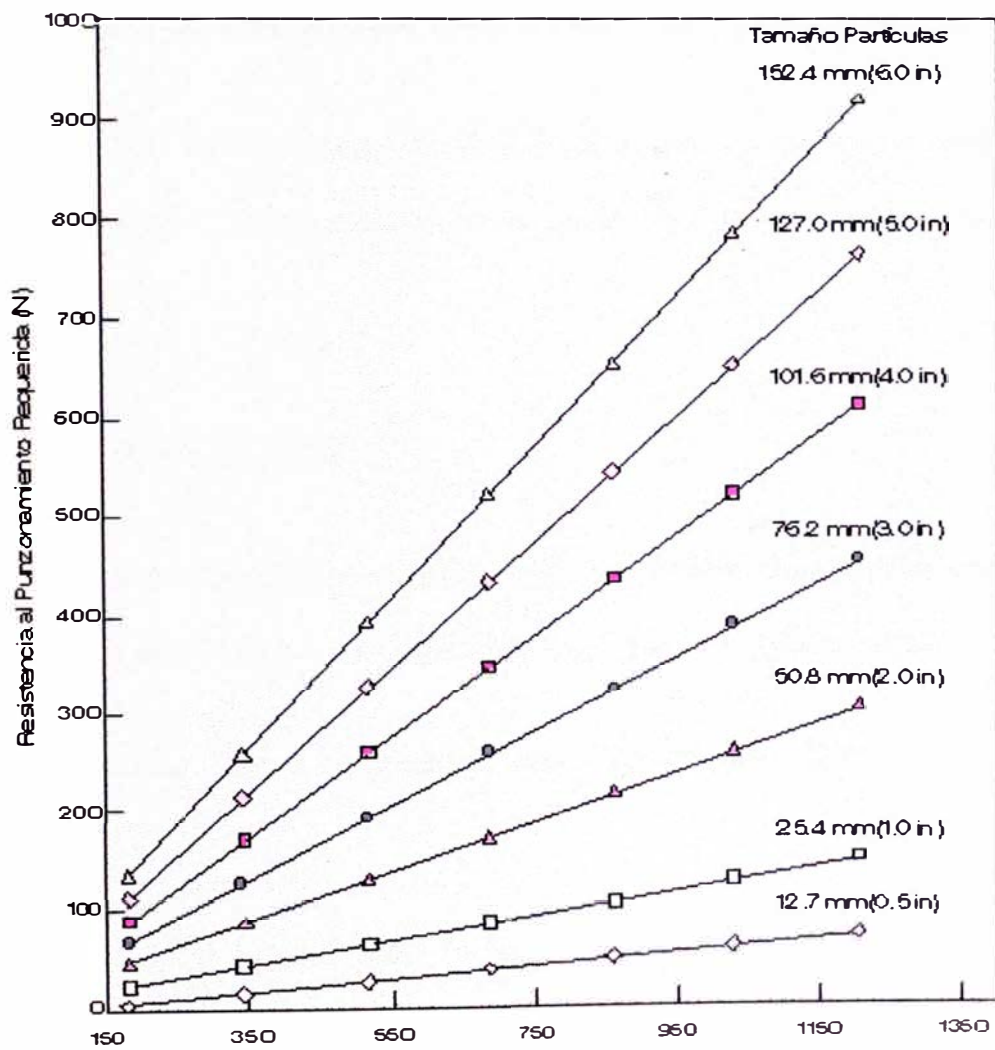


Fig 8 :Resistencia al Punzonamiento
Carta de diseño (FS_g = 2.0; FS_p = 2.0)



- Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos de 50% pasa tamiz #200), B es función del coeficiente de uniformidad C_u ($C_u = D_{60}/D_{10}$):

$$\begin{array}{ll} C_u \leq 2 \vee C_u \geq 8 & \Rightarrow B = 1 \\ 2 \leq C_u \leq 4 & \Rightarrow B = 0.5 \times C_u \\ 4 < C_u < 8 & \Rightarrow B = 8 / C_u \end{array}$$

- Suelos arenosos mal gradados: $\Rightarrow B$ entre 1.5 y 2
- Suelos finos (más de 50% pasa tamiz #200) B es función del tipo de geotextil. La AASHTO Task Force 25 recomienda que los geotextiles deben cumplir:

$$TAA < 0.3 \text{ mm}$$

e) Criterio de Permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad se define como la propiedad hidráulica que tiene un geotextil, para permitir un adecuado paso de flujo, perpendicular a su plano.

Para la función de separación los geotextiles deben cumplir lo siguiente:

$$k \text{ del geotextil} > k \text{ del suelo}$$

Donde:

k: permeabilidad : $k = \forall \times t$

\forall : permitividad del geotextil

t: espesor nominal del geotextil

En los casos en que se presente un nivel freático muy alto o condiciones críticas de humedad de la subrasante, se debe utilizar un geotextil con alta transmisividad que permita el drenaje a través de su plano, con un espesor mínimo de 2 mm (geotextiles no tejidos punzonados por agujas). En estos casos se recomienda incorporar un sistema de filtración lateral para abatir el nivel freático.

Los geotextiles son materiales de polipropileno, no biodegradables, altamente resistentes al ataque químico y biológico. Los geotextiles se degradan con los rayos UV, por consiguiente no deben ser expuestos por largo tiempo a estos rayos.

4.7.2 EJEMPLO DE DISEÑO

Para la construcción de una vía nueva se requiere colocar un geotextil de separación en la interfaz subrasante - subbase granular. La vía tendrá un ancho de calzada de 7.30 m (ancho carril = 3.65 m) y bermas - cuneta de 1.80 m, para un ancho total de corona de 10.90 m. El tránsito promedio diario (TPD) para el primer año de servicio es de 3000 vpd y el tránsito de diseño para un periodo de 10 años es $N = 6E+06$ ejes equivalentes a 8.20 ton. La composición vehicular es de 61% autos, 10% buses y 29% camiones.

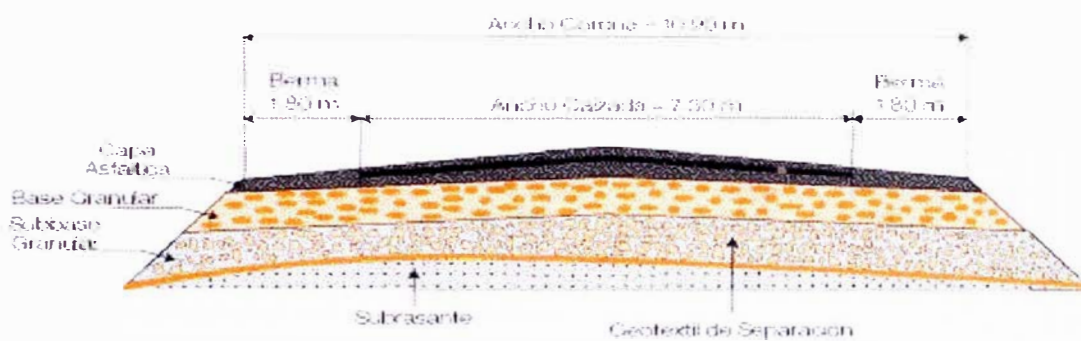
El suelo de subrasante está compuesto por limos arcillosos (ML), con una permeabilidad $k = 2.5 \times 10^{-6}$ cm/s y $D_{85} = 0.085$ mm. Se estableció un CBR de diseño de 3.5%, para una estructura de pavimento flexible compuesta por subbase y base granular y capa asfáltica.

Datos :

Presión de inflado: 100 psi = 690 kPa

Determinar el tipo de geotextil para usar como separación en la interfaz subrasante - subbase granular.

1. Subbase granular: tamaño máximo: $d_a = 50.8 \text{ mm}$ ($d_a = 2''$)
2. Subbase granular: tamaño máximo: $d_a = 101.6 \text{ mm}$ ($d_a = 4''$)



Caso 1:

a) Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

Método 2: Determinar $T_{reqdiseño}$

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 2.0$$

$$p' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$d_a = 50.8 \text{ mm} = 2''$$

Según la gráfica: $T_{reqdiseño} = 1517 \text{ kPa}$

Geotextiles que cumplen esta condición:

Geotextiles No Tejidos: NT2000, NT3000, NT4000, NT5000

Geotextiles Tejidos: T1050, T1400, T1700, T2100, T2400

Geotextil seleccionado: T1400

b) Resistencia a la Tension (grab)

Se verifica para geotextil tejido T1400:

$$T_{ult} = 800 \text{ N}$$

$$\text{Elongación} = 16\%$$

$$d_a = 50.8 \text{ mm} = 2''$$

$$p' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$f(\epsilon) = 0.63$$

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = \frac{800}{2.0 \times 690 \times 10^{-3} \times (0.33 \times 50.8)^2 \times 0.63} = 3.3 \quad \checkmark$$

c) Resistencia al Punzonamiento

Método 2: Determinar F_{ult}

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 2.0$$

$$d_a = 50.8 \text{ mm} = 2''$$

$$p' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 0.31/d_a$$

$$S_3 = 0.5$$

Según la gráfica: $F_{ult} = 182 \text{ N}$

Geotextiles que cumplen esta condición:

Geotextiles No Tejidos: NT1400, NT1600, NT2000, NT3000, NT4000, NT5000

Geotextiles Tejidos: T1050, T1400, T1700, T2100, T2400

Geotextil seleccionado: T1400 (El mismo escogido en el paso a.)

d) Criterio de Retención (TAA)

Criterio de retención: Suelos finos: $TAA < 0.3 \text{ mm}$

Geotextil T1400: $TAA = 0.21 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$,

e) Criterio de Permeabilidad

$k_g = 0.018 \text{ cm/s}$ \checkmark $k_g > k_s$,

$$k_s = 0.0000025 \text{ cm/s}$$

Solución caso 1: El geotextil que se debe colocar como separación en la interfaz subrasante - subbase granular es el geotextil tejido T1400.

Tabla IV-3. Resumen Solución Caso 1

DATOS PROYECTO	
Pavimento flexible	Capa Asfáltica
	Base Granular
	Subbase Granular: $d_a = 2''$
Subrasante	Limo Arcilloso (ML)
	CBR = 3.5%
	$k = 2.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$
Presión de Inflado	100 Psi = 690 kPa
DATOS GEOTEXTIL	
Geotextil de Separación	T1400
Resistencia al estallido(BURST)	3170 kPa
Resistencia a la tensión (GRAB)	800 N
Resistencia al punzonamiento	550 N
Tamaño Apertura Aparente	0.21 mm
Permeabilidad	0.018 cm/s
Resistencia al rasgado trapezoidal	260 N

Caso 2:

a) Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

Método 2: Determinar $T_{reqdiseño}$

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 2.0$$

$$p' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$d_a = 101.6 \text{ mm} = 4''$$

Según la gráfica: $T_{reqdiseño} = 3034 \text{ kPa}$

Geotextiles que cumplen esta condición:

Geotextiles No Tejidos: NT5000

Geotextiles Tejidos: T1400, T1700, T2100, T2400

Geotextil seleccionado: T1400

b) Resistencia a la Tensión (GRAB)

Se verifica para geotextil tejido T1400:

$$T_{ult} = 800 \text{ N}$$

$$\text{Elongación} = 16\%$$

$$d_a = 101.6 \text{ mm} = 4''$$

$$p' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$f(\epsilon) = 0.63$$

$$FS_p = 2.0$$

Se verifica para geotextil tejido T1700:

$$T_{ult} = 1050 \text{ N}$$

$$\text{Elongación} = 15\%$$

$$f_{ult} = 0.64$$

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 1.05 ,$$

Se verifica para geotextil tejido T2100:

$$T_{ult} = 1300 \text{ N}$$

$$\text{Elongación} = 17\%$$

$$f(\epsilon) = 0.62$$

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 1.35 ,$$

Para esta condición el geotextil T1400 no cumple, entonces se escoge el geotextil T2100 con el que se obtiene un factor de seguridad global mayor.

c) Resistencia al Punzonamiento

Método 2: Determinar F_{ult}

$$FS_p = 2.0$$

$$FS_g = 2.0$$

$$d_a = 101.6 \text{ mm} = 4''$$

$$p' = 100 \text{ psi} = 690 \text{ kPa}$$

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 0.31/d_a$$

$$S_3 = 0.5$$

Según la gráfica: $F_{ult} = 365 \text{ N}$

Geotextiles que cumplen esta condición:

Geotextiles No Tejidos: NT5000

Geotextiles Tejidos: T1400, T1700, T2100, T2400

Geotextil seleccionado: T2100 (El mismo escogido en el paso b.)

d) Criterio de Retención (TAA)

Criterio de retención: Suelos finos: TAA < 0.3 mm

Geotextil T2100: TAA = 0.25 mm < 0.3 mm ,

e) Criterio de Permeabilidad

$$k_g = 0.009 \text{ cm/s} \Rightarrow k_g > k_s ,$$

$$k_s = 0.0000025 \text{ cm/s}$$

Solución caso 2: El geotextil que se debe colocar como separación en la interfaz subrasante - subbase granular es el geotextil tejido T2100.

Tabla IV-4. Resumen Solución Caso 2

DATOS PROYECTO

Pavimento flexible	Capa Asfáltica
	Base Granular
	Subbase Granular: d_a 4"
Subrasante	Limo Arcilloso (ML)
	CBR = 3.5%
	$k = 2.5 \times 10^{-6}$ cm/s
Presión de Inflado	100 Psi = 690 kPa

DATOS GEOTEXTIL

Geotextil de Separación	T2100
Resistencia al estallido (BURST)	4270 kPa
Resistencia a la tensión (GRAB)	1300 N
Resistencia al punzonamiento	730 N
Tamaño Apertura Aparente	0.25 mm
Permeabilidad	0.009 cm/s
Resistencia al rasgado trapezoidal	440 N

4.8 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

Para que los geotextiles funcionen correctamente en las estructuras de pavimento se requiere un adecuado proceso de instalación. Aunque las técnicas de instalación son simples, la mayoría de los problemas de los geotextiles colocados en las vias ocurren

por procesos incorrectos de instalación. Si el geotextil es punzonado o rasgado durante la construcción, colocado con numerosas arrugas, cubierto con insuficiente material, presentará deficiencias en su funcionamiento y se producirá un deterioro prematuro de la estructura de pavimento. A continuación se presentan algunas recomendaciones importantes para el proceso de instalación del geotextil de separación (AASHTO - AGC ARTB TASK FORCE 25).

- Los rollos de geotextiles deben cubrirse con empaques que los protejan de la acción de los rayos UV, de la humedad, del polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades durante el transporte y almacenamiento antes de ser colocados. Cada rollo debe estar marcado correctamente para su identificación y control en obra.
- El sitio de instalación debe prepararse antes de extender el geotextil. La superficie de suelo de subrasante se debe limpiar (levantar la maleza y los objetos tirados sobre la superficie), excavar o rellenar hasta la rasante de diseño.
- Una vez desenrollado el geotextil sobre la superficie de la subrasante se debe cubrir lo más pronto posible con el material especificado en el diseño, evitando la degradación del geotextil por los rayos UV. Se debe evitar el contacto directo de maquinaria sobre el geotextil, se recomienda tener un espesor mínimo de 15 cm de material entre las llantas de los equipos y la superficie del geotextil. Luego de colocar el material granular, éste se extiende y se compacta según las especificaciones del diseño. Si se identifican zonas de suelos muy blandos o áreas muy inestables durante la preparación de la subrasante o después de la colocación del geotextil, éstas se deben rellenar con material seleccionado compactándolo hasta el nivel adecuado.

- Cuando se presentan zonas con grandes deformaciones durante el proceso de compactación el geotextil absorbe los esfuerzos a tensión y comienza a reforzar estas zonas de grandes deformaciones. Se recomienda entonces colocar otro geotextil sobre las zonas deformadas y rellenar hasta el nivel determinado. En los casos en que se presenten nuevamente deformaciones en estas zonas, se recomienda repetir el proceso anterior, rellenar y compactar hasta alcanzar el nivel especificado para garantizar la estabilidad total de la subrasante. En estas zonas el geotextil, además de cumplir la función de separación, está reforzando las zonas de mayor inestabilidad.
- Para curvas, el geotextil debe ser cortado y superpuesto en la dirección del giro. Los pliegues del geotextil deben ser engrapados o empernados a 0.6 metros de centro a centro.
- Cuando el geotextil intercepte un área de pavimento existente, el geotextil deberá extenderse hasta el borde del pavimento viejo. Para ensanchamiento o intersección de caminos existentes, donde geotextiles hayan sido utilizados anteriormente, considerar un anclaje del geotextil en el borde del camino. Entonces el borde del camino deberá ser excavado hasta el geotextil anterior y cosido al nuevo geotextil. Se puede utilizar recubrimientos, engrapados o empernados.
- El agregado deberá ser vaciado del volquete por el extremo donde fue colocado previamente.
- La primera capa de agregado debe ser vaciada y esparcida a 300 milímetros de espesor previo a la compactación. En ningún caso deberá permitirse el tráfico sobre

un camino blando con menos de 200 milímetros (150 milímetros para CBR>3) de agregado sobre el geotextil.

- Para suelos extremadamente blandos, sería recomendable utilizar equipo de construcción y compactación livianos para la primera capa. Los equipos de construcción deben ser los apropiados en formación de baches en la capa inicial no debe exceder en 75mm. Si las profundidades exceden este valor, será necesario disminuir el tamaño o peso de los equipos o incrementar el espesor de la capa.
- La primera capa de agregado debe ser compactada con un rodillo vibratorio de tambor liso, para obtener una mínima densidad compactada. Para suelos muy blandos, la densidad de diseño no debe ser completada en la primera capa y se recomienda que sea 5% menos para completar con el resto de las capas.
- La colocación del material deberá ser paralela a la colocación del geotextil. El paso de los vehículos no debe ser permitido encima de la primera capa. Obras alternativas como son los desvíos deberán ser consideradas.

4.8.1 TRASLAPES Y COSTURAS

- Las juntas de los geotextiles pueden ser con costuras o traslapes que deben cumplir las especificaciones de diseño. Las reparaciones de rasgaduras sobre el geotextil deben ser aprobadas por el ingeniero al igual que las juntas. Los traslapes deben cumplir unos valores mínimos que dependen de las características del suelo de subrasante y del tipo de tráfico que vaya a circular sobre la vía.

- Los traslapes tiene la función de proporcionar continuidad entre los rollos del geotextil, transmitiendo la resistencia de fricción entre textil y textil.
- La cantidad de traslape depende principalmente de las condiciones del suelo y del potencial del equipo de compactación de formar baches en el suelo. Si la subrasante no presenta baches durante la construcción, traslape mínimo será requerido para proporcionar alguna resistencia a la extracción. Cuando se produzca formación de baches durante la compactación, el traslape necesario se incrementará.
- El potencial de formación de baches tiene una relación directa con la capacidad del suelo, es decir con el CBR, entonces este valor nos sirve como un parámetro para recomendar un traslape mínimo requerido, como se indica en la tabla N° IV-5.

Tabla IV-5 : Traslape mínimo recomendado para geotextiles

CBR	Traslape Mínimo
>2	300 – 450 mm
1 - 2	600 – 900 mm
0.5 - 1	900 mm o costura
< 0.5	Costura
Final de todo el rollo	900 mm de Costura

- El geotextil deberá ser engrapado en los traslapes, para mantener su posición durante las actividades de construcción. Clavos de 25 a 30 centímetros pueden ser utilizados.
- Los traslapes no deben ser colocados en la dirección por donde pasará las ruedas de los vehículos.
- La parte final del rollo deberá ir superpuesto al siguiente rollo en la dirección del vaciado del agregado, según se muestra en la gráfica 4.6.
- La transferencia del esfuerzo a través de la costura de los rollos es un tema importante. La costura, se aplica a los extremos transversales lo mismo que los extremos longitudinales.
- Como es de suponer, al igual que con los traslapes, cuando más blando es el suelo mayor será la consideración para la costura.
- Para hacer las costuras se deben utilizar las máquinas especialmente diseñadas para esta función. Las costuras se pueden hacer con hilo en poliéster o polipropileno, pero en ningún caso se puede emplear hilo de fibra natural o un hilo que tenga una tenacidad mayor que la de la cinta o fibra del geotextil. El patrón de costura se determina con ensayos en campo y debe cumplir el 75% de la resistencia evaluada por el método de la tira ancha. El ensayo para costuras es ASTM D4884

- Es en el campo donde se debe realizar las costuras y las siguientes son las consideraciones para el caso:
 - Tipo de hilo, se puede utilizar Kevlar, nylon, poliéster y polipropileno, en orden decreciente de resistencias y de costo.
 - Tensión del hilo, el cual debe ser ajustado lo suficiente para no cortar los hilos del geotextil.
 - Densidad de puntada, de dos a cuatro por pulgada es lo usual. Gráfica N°4.7.
 - Tipo de puntada, usando hilo simple o doble, el más resistente es el tipo mariposa según la siguiente Gráfica N°4.7.
 - Número de filas, puede ser una, dos o tres como se muestra en la Gráfica N° 4.7. Se recomienda al menos dos filas.
 - Tipo de puntada en cadena es el más recomendado, según Gráfica N°4.7.

- Las costuras son importantes para la transmisión de esfuerzos de un rollo a otro y para esto su eficiencia deberá llegar hasta un 100% sin problemas. Si sigue todas las recomendaciones dadas no habrá problemas en el futuro.

REFUERZO LOCAL

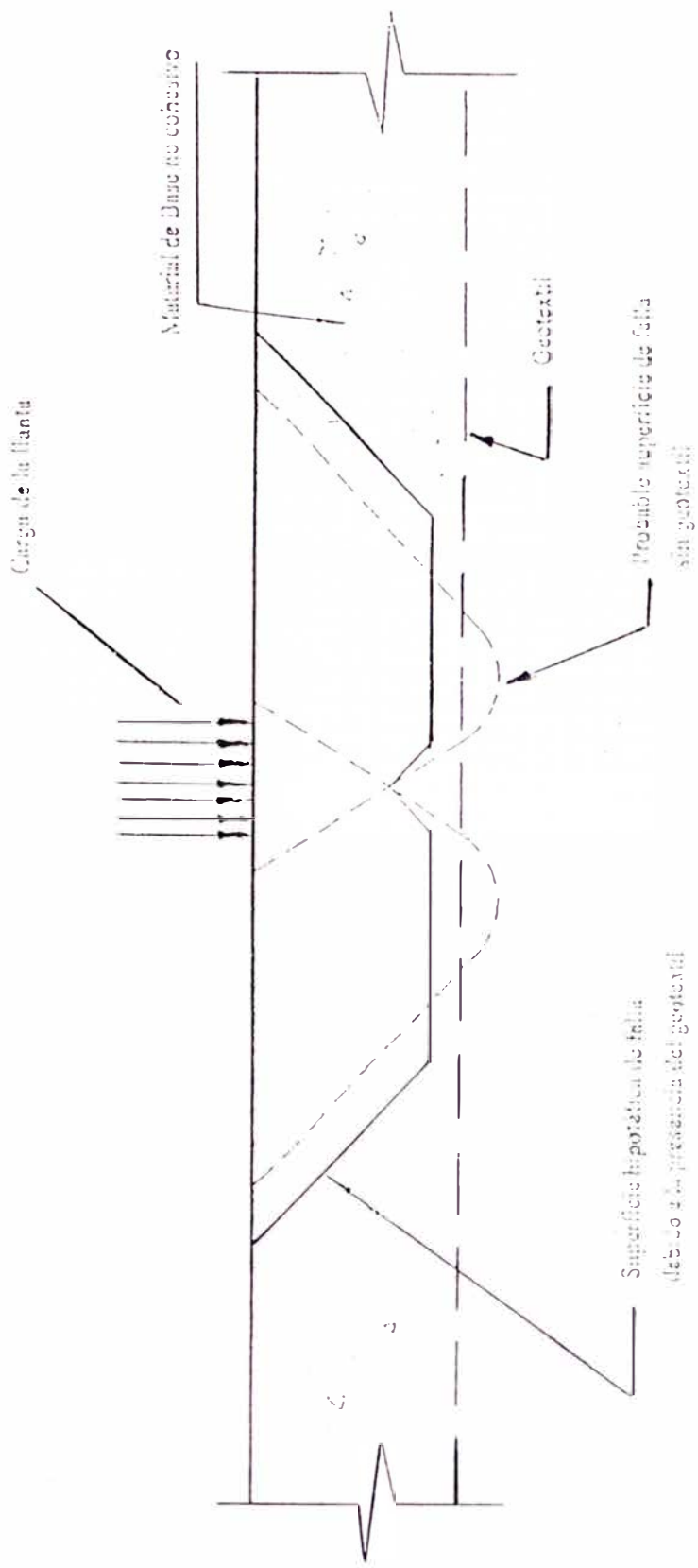
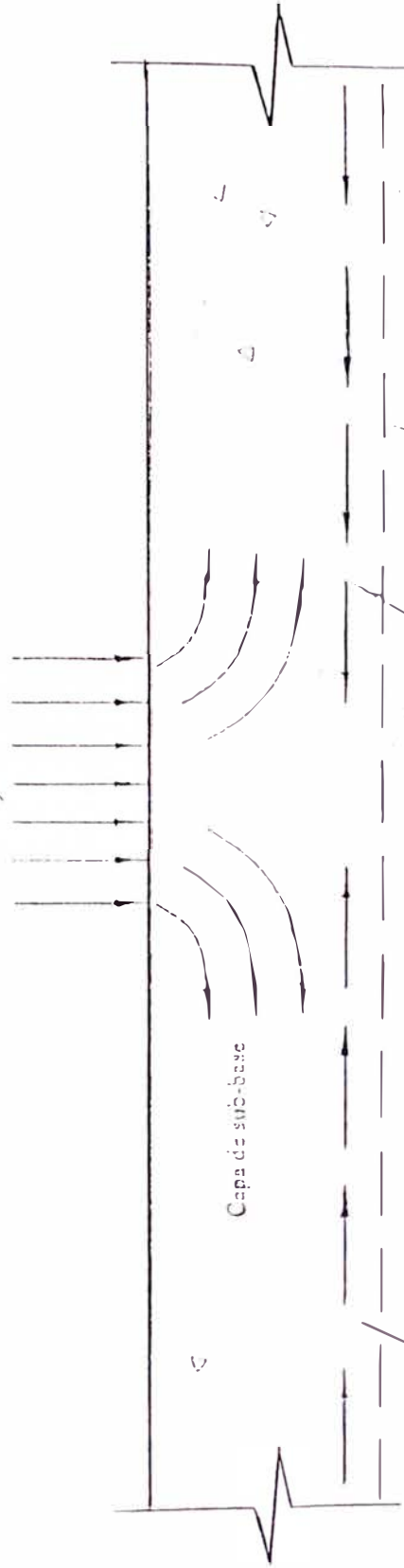


Gráfico 4.1

RESTRICCIÓN LATERAL

Carga de la Hanta



Capa de sub-base

Geotextil

Restricción Lateral del Geotextil

Gráfico 4.2

EFFECTO MEMBRANA

Material de Base no cohesivo

Carga de la Huelta

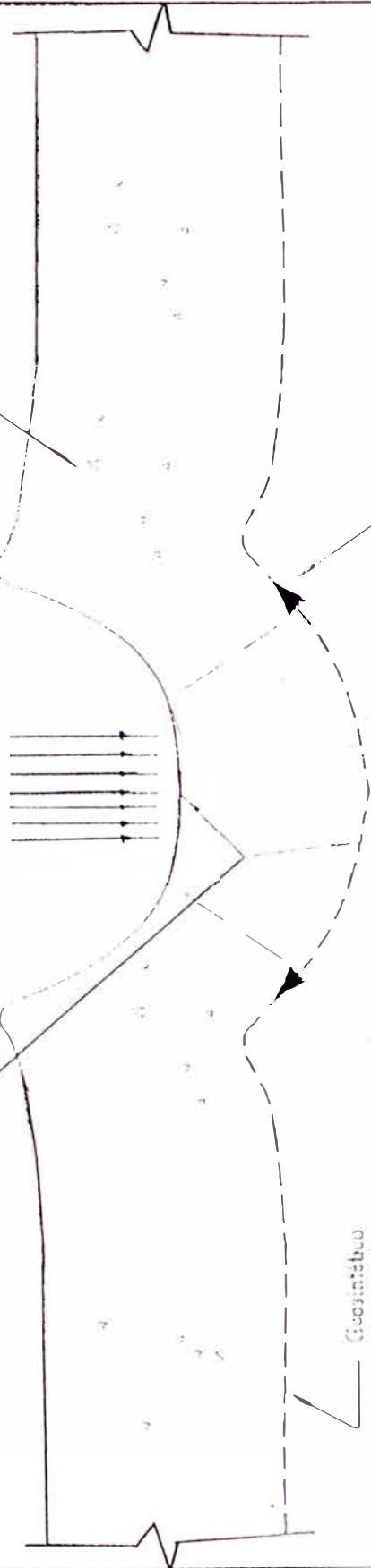
Huelta

Tensión del Geotextil

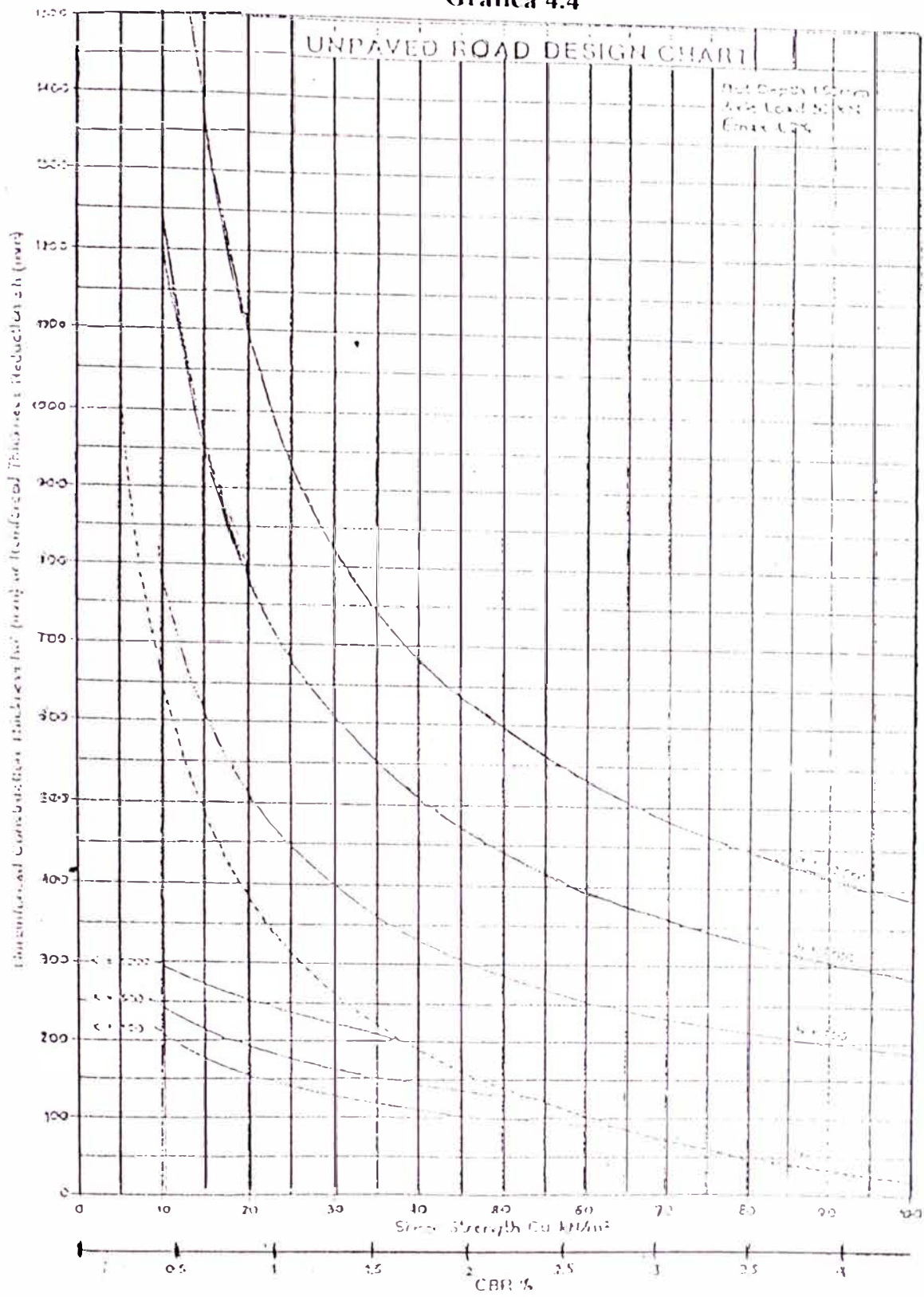
Geotextil

Componente vertical de la tensión en el plano del geotextil (Efecto Membrana)

Gráfico 4.3



Gráfica 4.4



ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE CON GEOTEXTIL

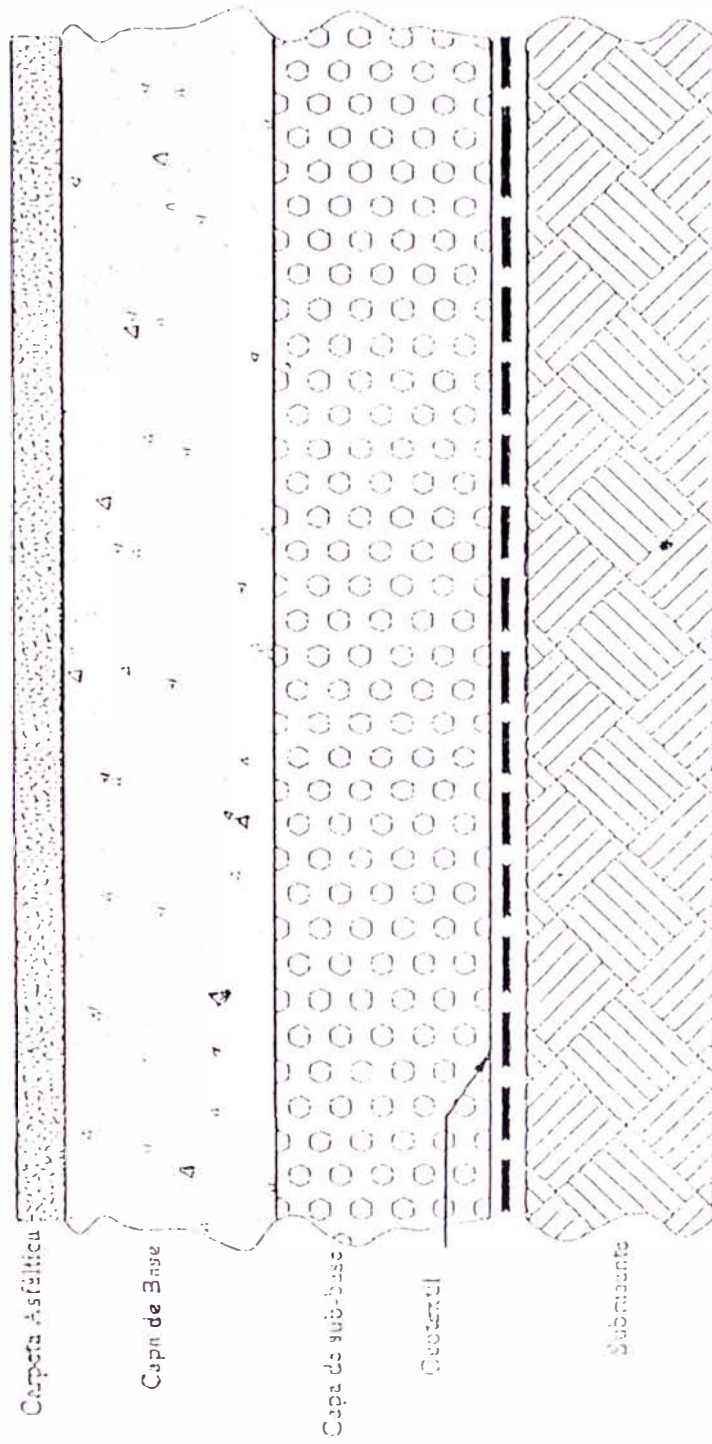
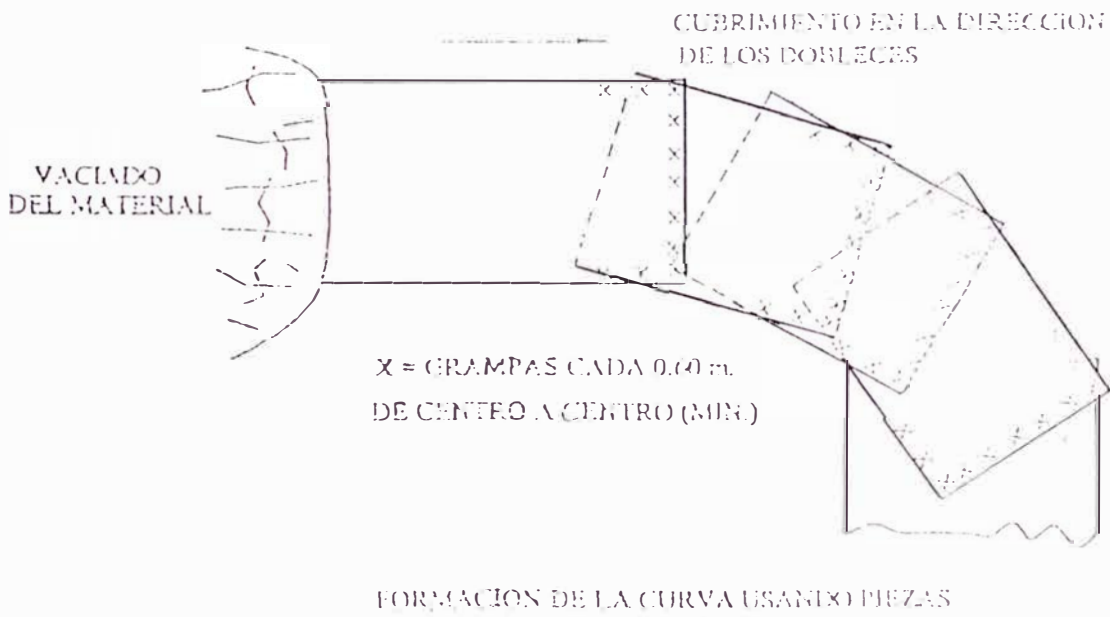
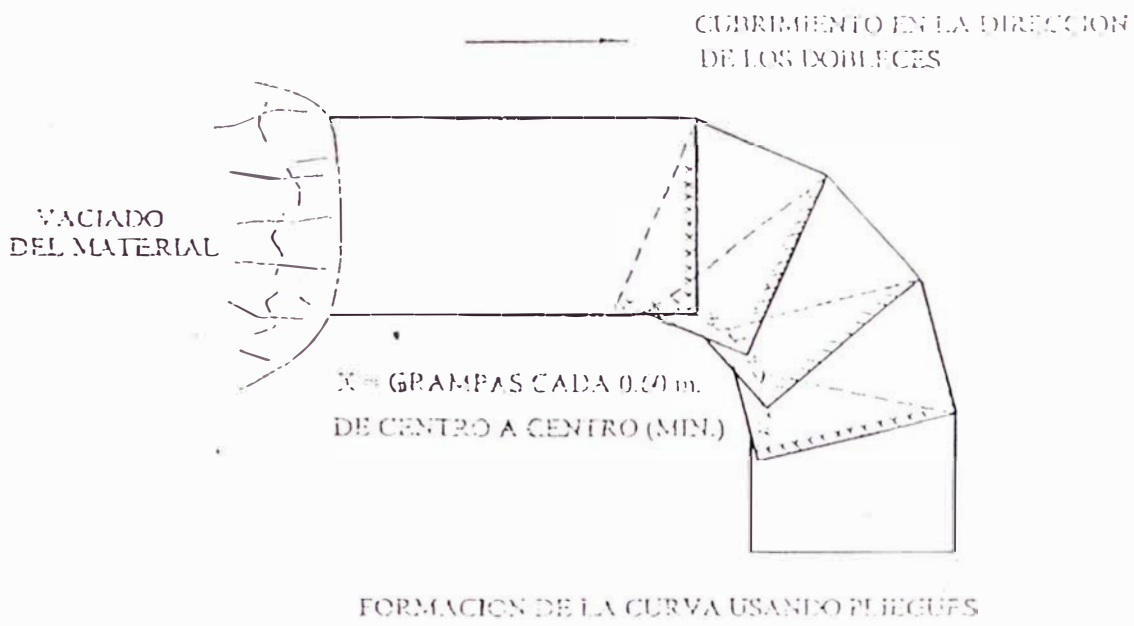


Gráfico 4.5

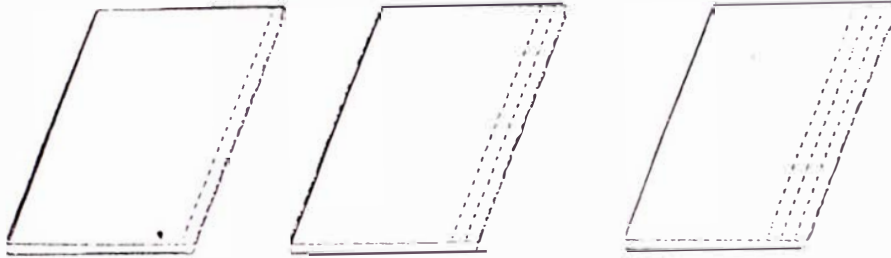
Gráfica 4.6

TRASLAPE DEL GEOTEXTIL



Gráfica 4.7

TIPOS DE COSTURA



SSn-1

SSn-2

SSn-3

Costura según la Densidad de la puntada



SSn-1

SSn-2

SSn-3

Costura tipo "J"



SSn-1

SSn-2

Costura tipo "Meriposa"

CAP V

APLICACIÓN DEL GEOTEXTIL EN EL PERU

PROYECTO: REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA PUQUIO – CHALLHUANCA, TRAMO PUQUIO – DESVIO PAMPACHIRI

5.1 DATOS GENERALES

PROYECTO	:	Rehabilitación de la carretera Puquio- Challhuanca
TRAMO	:	Puquio – Desvío Pampachiri
PROGRESIVA	:	Km 0+000 al Km 89+450
UBICACIÓN	:	Departamento de Ayacucho
ENTIDAD	:	Ministerio de Transportes, Vivienda y

	Construcción.
CONSULTOR	EICA Consultores S.A.
CONTRATISTA	J.J.C Contratistas Generales S.A.
SUPERVISIÓN	CESEL S.A INGENIEROS
	CONSULTORES
PRESUP. BASE	S/. 122 751 674.46
FECHA PRESUP. BASE	Noviembre de 1996
FECHA DE EJECUCIÓN	1999
MONTO ACTUALIZADO	S/. 150 616 304.56

5.2 MEMORIA DESCRIPTIVA

Dentro del Programa de Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras que ha emprendido el Gobierno, el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción a través del Proyecto Especial Rehabilitación, Infraestructura de Transportes (PERT) ha previsto la adecuación y actualización del ESTUDIO DEFINITIVO DE INGENIERIA PARA LA REHABILITACION DE LA CARRETERA PUQUIO – CHALLHUANCA en el tramo PUQUIO – DESVIO PAMPACHIRI con una longitud de desarrollo de 89.45 Km mas 3 km correspondientes al cruce de la ciudad de Puquio.

La ciudad de Puquio, capital de la provincia de Lucanas, se encuentra a 130 km de la ciudad de Nazca, centraliza gran parte de la actividad comercial y económica de la zona y es fuente de aprovisionamiento de subsistencias alimentáreas básicas para los poblados de las áreas vecinas. Después del fenómeno subversivo en la zona se han

iniciado otras actividades que benefician directa o indirectamente a los diversos centros poblados, los mismos que tienen como su actividad principal la agropecuaria.

5.2.1 ANTECEDENTES

El 7 de noviembre de 1994 se firmo el Contrato de Estudios N° 158-94-MTC/15.14 en mérito del cual se conviene en utilizar los servicios de nuestra empresa en la ejecución del Proyecto de Rehabilitación del tramo referido en el punto 1.

El estudio fue remitido al Proyecto Especial Rehabilitación Infraestructura de Transportes (PERT) para que se encargue de su licitación.

El Proyecto Especial Rehabilitación Infraestructura de Transportes (PERT), encargo a nuestra empresa la ejecución de la Adecuación y Actualización de los Estudios Definitivos para la Rehabilitación del Tramo Carretero en mención, mediante el Contrato N° 246-96 MTC/15.03.PERT.01, de fecha 29 de noviembre de 1996.

El día 12 de diciembre de 1996 se recibió el adelanto otorgado por el PERT, con lo cual se cumplió con lo establecido en el numeral 6.3 de la Cláusula Sexta del Contrato.

5.2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Los objetivos del Proyecto Especial Rehabilitación Infraestructura de Transportes (PERT) son:

- a) Mejorar la vía y su servicilidad.
- b) Estudiar y plantear soluciones al sistema de drenaje
- c) Plantear soluciones a la estabilidad de taludes .
- d) Rehabilitar y mejorar la vía para un mejor servicio al usuario.
- e) Conservar en lo posible el trazo actual.
- f) Diseño de pavimentos de acuerdo a las cargas reales actuantes y el tráfico circulante y proyectado. Este diseño también toma en consideración el índice de congelamiento y la determinación de la penetración de las heladas con el fin de determinar el espesor requerido de las capas granulares no susceptibles al congelamiento.
- g) Diseño de señalización horizontal y vertical acorde con la últimas Normas de señalización dictadas por el MT VC.
- h) Análisis y recomendaciones para resolver el Impacto Ambiental negativo que se pudiera originar durante la ejecución de las obras y una vez concluidas éstas.

5.2.3 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El tramo de Rehabilitación y Mejoramiento es motivo del presente Estudio Definitivo forma parte de la Carretera Nasca – Puquio – Abancay – usco.

Topografía y clima.-

La vía se encuentra en actual servicio, se desarrolla en zona de sierra alta a puna, con topografía accidentada en su parte inicial y topografía típica de altiplano en su parte final.

Los metrados del Proyecto incluyen los tres kilómetros correspondientes al cruce de la ciudad de Puquio.

El inicio de la vía se da a la salida de la Ciudad de Puquio a 3270 m.s.n.m. e inmediatamente inicia el ascenso hacia la parte altiplánica, llegando a los 4400 m.s.n.m. en el sector de la laguna de Yaurihuirí en una longitud de algo mas de 45 km. De allí en adelante la vía mediante subidas y bajadas continúa hacia el final del tramo siempre sobre los 4400 m.s.n.m.

El clima imperante es mas bien frío en la mayor parte del desarrollo con presencia de lluvias abundantes del tipo estacional .

Traza actual de la carretera .-

Este tramo se inicia en la localidad de Puquio, en un extremo del Hospital Regional de dicha ciudad, lugar donde se ubicará la progresiva 0+000. Así mismo, el presupuesto del proyecto incluye los metrados correspondientes al cruce de la ciudad de Puquio.

La carretera se encuentra actualmente en mas estado, sobre todo el sector comprendido entre Yaurihuiri y el Desvío a Pampachiri, comprobándose que los

finos del pavimento han desaparecido a causa de la erosión originada por la escorrentía de las lluvias y por otras razones mas que serán indicadas como consecuencia de la observación y análisis realizados en la zona del proyecto.

Las características del tramo Puquio – Desvío Pampachiri pueden ser descritas, según las condiciones encontradas, en tres sectores bien definidos con detalles particulares.

Los mencionados sectores son:

- 1) Sector Puquio – Yaurihuirí
- 2) Sector Yaurihuirí – Negro Mayo
- 3) Sector Negro Mayo – Desvío Pampachiri

Sector Puquio – Yaurihuirí

En este sector se encuentra el punto o progresiva 0+000 el cual se ubica en la localidad de Puquio, mas precisamente en el extremo Este del Hospital Regional.

El Proyecto incluye en el presupuesto de obra de los metrados correspondientes a los tres km. de carretera correspondientes al cruce de la ciudad de Puquio, es decir, desde el puente de acceso hasta el extremo este del Hospital Regional de Puquio.

El contratista deberá ejecutar la obra correspondiente a dicho tramo, cuya sección típica tiene las mismas características técnicas del tramo que va de la progresiva 0 + 000 a la 44 + 000.

El ancho de calzada en este sector es variable, así se encuentran secciones de 5.00 m., 6.50 m. hasta 9.00 m. pero no por diseño, sino porque las bermas y partes de la calzada han sido obstruidas por derrumbes o porque las cunetas han desaparecido como consecuencia de la erosión o también porque ha sido cubierta por la excesiva vegetación.

Este tramo en su totalidad tiene continuos desarrollos debido a que el Km. 0 + 000 está ubicado a 3270 m.s.n.m. y Yaurihuri se encuentra sobre los 4400 m.s.n.m.

En este sector las lluvias son moderadamente fuertes alcanzando los 1200 mm. de precipitación, siendo esa la razón por la que cuando llueve la escorrentía que se forma causa mucho daño a la carretera, que se agrava aún más por la casi ausencia total de estructuras de drenaje, como cunetas y zanjas de coronación, aunque existen escasas alcantarillas.

La carretera en su trazo tiene pendientes que oscilan entre 2% y 6%, la calzada, como se mencionó, tiene ancho variable y casi en su mayor parte no tiene bermas, sea porque no se le hizo o porque los derrumbes las han obstruido completamente.

El eje de la carretera se encuentra desplazado en parte porque la erosión hídrica ha hecho que se amplie o angoste.

La pendiente de los taludes donde se asienta la carretera varía entre 40° y 70°, lo cual hace que cuando llueva forme escurrimientos superficiales de gran velocidad que al no ser controlados causan deslizamientos y derrumbes, además, en taludes bajos y de

pendientes menores de 40°, donde solamente escurre agua y no hay cunetas, el agua llega a formar empozamientos que luego provocan ahuellamiento de diversas dimensiones que dificultan el desplazamiento de los vehículos que circulan por la vía, los cuales son de diversos pesos, variando desde un auto o camioneta a trailers de hasta 40 toneladas que prefieren esta ruta por ser mas corta de Lima a Cusco y viceversa.

Asimismo, se puede mencionar que los cruces de quebrada se hacen por puentes de concreto armado, como es el caso del pase del río en la quebrada Yanahueje, o mediante alcantarillas de diversas dimensiones, que en algunos casos son insuficientes y ocasionan desbordes, principalmente en la época de avenidas o lluvias. Las alcantarillas, en este sector, están construidas con material propio de la zona, es decir, con cajas de piedra de diversas dimensiones.

Sector: Yaurihuri – Negro Mayo

Este sector desde el punto de vista fisiográfico, totalmente diferente al sector Puquio-Yaurihuri, porque topográficamente es una planicie que se prolonga inclusive hasta Pampamarca, poblado que se encuentra pasando la división Pampachiri.

La carretera en este sector se encuentra totalmente deteriorada, salvo algunas pequeñas longitudes que mantienen en regular estado la plataforma de rodadura, sin embargo el resto se encuentra en muy mal estado, y así se convierte en casi intransitable.

Este sector presenta diferentes anchos de calzada, pérdida total de la rasante, desplazamiento del eje de la carretera, ausencia total de cunetas para evacuación de aguas pluviales y pérdida en su mayor parte de los materiales finos presentando el afloramiento del material grueso de la base.

Aunque este sector no tiene taludes porque es una planicie, presenta empozamientos y ahuellamientos profundos y amplios en una continuidad que demuestra la ausencia notoria de drenaje que evacue las aguas de lluvia, los cuales al caer en una plataforma de rodadura que ha perdido su bombeo y que no tiene cunetas originan que el agua no escurra y se empoce deteriorando la base, que con el trajinar de los vehículos causa asentamientos, es por eso que se puede apreciar que en muchos lugares los transportistas están utilizando áreas de terreno natural adyacente a la carretera para desplazarse.

Con relación a los puentes, cunetas y alcantarillas existentes en este sector, se puede mencionar que presentan diferentes dimensiones y tamaño, e inclusive son de diferente material de construcción.

El puente que cruza el canal de salida de la laguna Yaurihuri esta construido de piedra labrada asentada en concreto, las salidas de las otras lagunas como Tipicocha y Puccacocha son tipo alcantarilla y están construidas de lajas de piedra o sino del tipo ARMCO encajables, usándose a veces una combinación de ambas.

También existen pontones de madera como en el Río Negro Mayo, construidos en forma rústica utilizando utilizando piedras como soporte y vigas de madera sobre las

mismas. Sin embargo, esta estructura soporta las cargas de los vehículos que transitan sobre ella, inclusive trailers de hasta 40 tn. En época de lluvias y avenidas la abertura de salida de este río no soporta los altos caudales y rebalsa por la plataforma de la carretera, dañando la superficie de rodadura.

En general, los anchos de rodadura o de calzada en estos cruces son muy angostos, alcanzando como máximo 5.20 m que permite el pase de un solo vehículo.

En este sector, se debe destacar que las precipitaciones son muy fuertes, alcanzando intensidades de hasta 50 mm/h, con características de tormentas, ocurriendo a veces nevadas que alcanzan alturas de hasta 0.85 m, lo cual hace que se formen enormes volúmenes de agua que dañan la carretera.

Las precipitaciones alcanzan hasta 1800 mm. como promedio anual, llegando en algunas ocasiones a más de 2000 mm. especialmente cuando se producen tormentas eléctricas, comunes en estas zonas alto andinas, sobre todo considerando que este sector se encuentra sobre los 4500 msnm.

Sector: Negro Mayo – Desvio Pampachiri

Este sector al igual que el sector Yaurihuirí – Negro Mayo, se ubica sobre una planicie que presenta las mismas características topográficas y climáticas, es decir superficie plana o ligeramente ondulada, clima intensamente frío y precipitación que sobrepasa los 2000 mm. como promedio anual, igualmente ocurren nevadas que alcanzan alturas que varían entre 0.20 m a 1.00 m.

La diferencia que existe con el sector 2 (Yaurihuirí-Negro Mayo), es que parte de su superficie presenta algunas ondulaciones que permiten una ligera formación de escorrentía superficial que hace más grave la acción erosiva del agua, agravando con el hecho que no existen cunetas, ni bombeo en la plataforma, por lo que la rasante de la vía es fácil y rápidamente erosionada, presentando por ello grandes longitudes de empozamientos y ahuellamientos que originan que al lavarse los finos de la base, quede expuesto el material grueso.

El trazo, en general, casi ha perdido su diseño original, y presenta diferentes anchos de calzada. El eje ha perdido su alineamiento original y plataforma casi es intransitable, observándose huellas en áreas adyacentes a la carretera, lo cual es señal de que los transportistas prefieren buscar otras vías para poder desplazarse.

Es general el problema fundamental es la ausencia de cunetas y falta de mantenimiento en la carretera.

Estado del Pavimento.-

El pavimento de la vía es a nivel afirmado, el cual se encuentra sumamente deteriorado por efecto del uso y del clima de la zona, así como por la ausencia total de un sistema de drenaje eficiente.

Ubicación Geográfica.-

El tramo cuya rehabilitación y mejoramiento es materia del presente Estudio Definitivo, forma parte de la Carretera Nasca – Cusco, ruta 26 y se ubica

geográficamente en el Departamento de Ayacucho.

5.3 ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA, TRAZO Y DISEÑO GEOMETRICO

5.3.1 TRAZO VIAL Y CARACTERÍSTICA DE LA VÍA REHABILITADA Y MEJORADA

La carretera Nasca- Cusco reviste vital importancia ya que une directamente con la costa del país a ciudades importantes como Cusco, Abancay y Puquio, poblados como Challhuanca e indirectamente a poblados igualmente importantes como Andahuaylas y Cora Cora. Es decir el área de influencia de la carretera mencionada es bastante amplia.

La rehabilitación y/o mejoramiento de la carretera indicada de la cual el Tramo Puquio Desvío Pampachiri forma parte, resulta sumamente importante y en la actualidad luego de mas de 40 años de servicio ha comenzado a recibir el tratamiento que merece. Debe recalarse que esta vía que une no sólo la costa del país con la sierra sur, sino la Capital de la República con Ciudades de inmenso valor para la humanidad como es el Cusco , luego de un mejoramiento adecuado será ruta obligada para unir las ciudades indicadas, pues resulta más corta que la otra ruta alterna: Arequipa - Juliaca - Cusco.

Los trabajos para la rehabilitación y mejoramiento del tramo Puquio - Desvío Pampachirí, han demandado un trabajo cuidadoso, pues la vía en la actualidad, luego de que la zona soporto por mas de una década los embates de la subversión, ha quedado en pésimo estado, siendo por sectores prácticamente intransitable.

Por ello los estudios de campo y gabinete de los cuales el Diseño Vial reviste real importancia, han sido ejecutados con mucho cuidado y exactitud, para que el producto final que se obtenga presente una optima calidad.

Debido a lo anterior se optó por el siguiente plan de trabajo para la ejecución del Estudio Topográfico:

- a. Trazado de la poligonal en toda la longitud del tramo, monumentando convenientemente los PI's. La poligonal cuenta con un cierre que cumple las especificaciones para este tipo de trabajo.
- b. Topografía de detalle a base de toma de puntos de relleno y estacado del eje cada 20 m. en tangente, cada 10m. en curva y distancias menores a 10m. en puntos notables tales como puentes, obras de arte, etc. Nivelación de las estacas desde una red de BM's cada 500 m. basados en la cota 3,213.9496 del hito del ign : R-217-IGN Perú - 1955 ubicado en Puquio. Seccionado de cada estaca con una cobertura de 25 m. a cada lado del eje.
- c. Debido a la longitud del tramo, el trabajo de detalle se ejecutó en tres frentes:

Puquio - km. 22+000

km. 22 000 - Km. 55+000

Km. 55+000 - Km. 89+450

- d. Toda la información de campo una vez efectuados los cierres correspondientes ha sido volcada en laminas conforme a lo solicitado en los términos de referencia del proyecto.

Trazo en planta.-

El trazo del eje para la rehabilitación y mejoramiento de la vía ha sido ejecutado teniendo en consideración las siguientes premisas:

- Aprovechamiento al máximo de la plataforma existente
- Corrección del trazo quitando las sinuosidades innecesarias
- Tratar que en lo posible los trabajos de rehabilitación y mejoramiento sean en corte, proyectando rellenos sólo en casos muy necesarios.
- Desarrollar el eje de la vía por zonas estables
- Favorecer con el trazo de la vía por zonas estables
- Ampliar las curvas para mejorar la visibilidad

La sección transversal de la carretera tendrá las siguientes características.

· Categoría	:	2do Orden
· Velocidad Directriz (0+000 al 30+000)	:	30Km/hora
· Velocidad Directriz (30+000 al 88+638)	:	40Km/hora
· Ancho de superficie de rodura	:	9.00 m
· Cunetas	:	1.00 x 0.50 m.

Por ello el ancho de la plataforma será de 9.00 m., y en vista que actualmente presenta anchos que van de 5.00 a 6.00 metros, el eje de la vía para la rehabilitación y mejoramiento se ha colocado en el borde interior de la actual transversal.

Descripción del Trazo.-

El punto de inicio del tramo en estudio KM. 0+000 se ubica frente al Hospital de Apoyo de Puquio, en dirección del muro perimetral derecho. Este punto de inicio fue fijado en campo con la Coordinación del Estudio.

Los primeros 4 Km. se desarrollan sobre terreno ondulado en su mayor parte con presencia de pequeños sectores accidentados. En este sub-tramo se tienen 36 curvas.

Del Km. 4+000 al Km. 10+000, el trazo discurre por zona semi-accidentada y accidentada, a media ladera con taludes en los que se aprecia la presencia de roca suelta en la mayor parte y en menor proporción material suelto y roca fija. Para salvar la diferencia de costas la carretera tiene un gran desarrollo a base de curvas de volteo. En este sub-tramo se ha tenido mucho cuidado en el hecho que los trabajos proyectados no afecten la estabilidad de las ramas superiores en los desarrollos. En este tramo se tienen 48 curvas. En el Km. 8+250 se ha proyectado una variante para corregir una sinuosidad innecesaria y eliminar una curva.

A partir del Km. 10+000 el ascenso se da por terreno ondulado donde el eje deja la sinuosidad tan marcada para presentar mejores alineamientos, se recorre una zona plana entre el Km. 12 y el Km. 16, para luego continuar el trazo a media ladera con tangentes medianas y curvas con radios de gran amplitud. Del Km. 16+000 al Km.

42+000, las laderas se hacen más tendidas. Las características del suelo son similares al sub-tramo anterior. En las progresivas 14+800 y 15+400 se han efectuado variantes con la finalidad de mejorar la geometría de la vía.

Del Km. 42+000 al Km. 70+000 la zona se vuelve de semi-ondulada a plana, donde los alineamientos se caracterizan por ser largas tangentes con algunas curvas y radios muy amplios. El suelo predominante es material suelto.

Del Km. 70+000 al Km. 82+000 el terreno vuelve a ser semi-ondulado y el trazo discurre todo el tiempo a media ladera.

A partir del Km. 82+000 hasta el final del tramo, el terreno es ondulado con algunas sinuosidades que se han corregido, para luego atravesar la pampa de Huamanpirca donde se han proyectado largas tangentes.

El trazo termina en la progresiva 89+450 que corresponde al desvío hacia Pampachirí.

Perfil Longitudinal.-

En la carretera actual, exceptuando algunos sectores muy localizados se ha mantenido una buena línea de gradiente, observándose, una pendiente moderada aun en las zonas críticas.

El estudio se inicia en la cota 3,200.00, llegando al Km. 12+000 con la cota 3,600.00, es decir con una pendiente promedio de 3%. A partir de esa progresiva se asciende

sostenidamente hasta la cota 4,390.00 en los alrededores de la laguna de Yaurihuirí y luego hasta la cota 4,500.00 en las cercanías de Negro Mayo, la pendiente en este sub-tramo es de 2.1%. De Negro Mayo hasta el desvío a Pampachiri el terreno es más bien plano, discurriendo la vía a una altitud promedio de 4,450.00 m.s.n.m.

Los trabajos de nivelación se han ejecutado basados en una red de BM's a partir del hito R-127-IGN Perú-1955 ubicado en la ciudad de Puquio con una cota de 3,216.9496. La red de BM's cuenta con 180 unidades ubicadas a una distancia de 500 metros: entre ellas y los cierres se han calculado igualmente cada 500 metros.

Se ha tomado debida nota de las progresivas donde se elevará la rasante es sumamente baja produciéndose graves problemas de drenaje.

Secciones Transversales.-

De acuerdo con las características geométricas del eje, se han tomado las inflexiones transversales 25.00 m a cada lado del mismo, con lo que se tiene una franja adecuada para el diseño final de la planta.

En el cruce de quebradas, las secciones se han tomado por el cauce mismo para el diseño hidráulico de alcantarillas y/o pontones y perpendicular al eje para el cálculo de los movimientos de tierras.

Características Principales del Nuevo Trazo.-

El nuevo trazo del tramo carretero estudiado ha mejorado sustancialmente el existente no sólo en lo que se refiere a un mejor manejo del terreno natural sino a las mejores condiciones de visibilidad y seguridad que ofrece.

El tramo cuenta con 396 curvas con radios superiores a los 30 metros con excepción de 12 de ellas que por la naturaleza del terreno han sido afectadas con radios de 25 m.. De las indicadas curvas, 202 son a la derecha y el resto a la izquierda.

Se ha eliminado una serie de curvas y contracurvas, se ha mejorado las pendientes, se ha ajustado la rasante de la vía a la realidad tratando de beneficiar la plataforma de esta al dotarla de un buen drenaje.

5.3.2 MOVIMIENTOS DE TIERRAS

Cortes y Rellenos.-

La rehabilitación y el mejoramiento del tramo Puquio - Desvío Pampachiri demanda una gran cantidad de cortes y rellenos debido al ensanche de la actual plataforma y a la elevación de la rasante para proteger a la vía de los efectos de las aguas de escorrentía superficiales.

El cálculo de los volúmenes de corte y relleno se efectuó a partir de los datos obtenidos en las secciones transversales tipo de la vía rehabilitada y mejorada.

En el caso de los cortes se identificó tres tipos de suelo sobre lo que había que trabajar, material suelto, roca suelta y roca fija.

Los rellenos se harán con el material proveniente de los cortes diferenciándose las alternativas de relleno hasta 120 metros y después de 120 metros. La distancia media de transporte para los rellenos comprende la distancia entre los centros de gravedad del material en su posición original y final.

Los resultados obtenidos son:

·	Corte en material suelto	574,036.38 m ³
·	Corte en roca suelta	185,033.91 m ³
·	Corte rica fija	88,485.02 m ³
·	Relleno con material propio	428,455.07 m ³
·	Eliminación de material orgánico	77,211.00 m ²
·	Preparación de terreno para rellenos	381,763.60 m ²

5.3.3 PAVIMENTOS

El pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados entre la superficie de la sub-rasante (capa superior de las explanaciones) y la superficie de rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie uniforme, de color y textura apropiados, resistentes a la acción del tránsito, a la del intemperismo y de otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente al terreno de fundación, los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito fluido de los vehículos, con la comodidad, seguridad y economía previstos por el proyecto.

La estructuración de un pavimento, o disposición de las diversas partes que los constituyen, así con las características de los materiales empleados en su construcción ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que pueda estar formado por una sola capa o de varias, y a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, procesados o sometidos a algún tipo de tratamiento o estabilización.

La superficie de rodadura propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, un tratamiento superficial o la superficie de una capa de material granular con resistencia al desgaste.

La actual tecnología de pavimentos contempla una gama muy diversa de secciones estructurales, las cuales son funciones de los distintos factores que intervienen en la performance de una vía: tránsito, tipo de suelo, importancia de la vía, condiciones de drenaje, recursos disponibles, etc; debe elegirse la solución más apropiada, de acuerdo a las facilidades y experiencias locales, y a las condiciones específicas de cada caso, es una tarea que requiere de un balance técnico - económico de todas las alternativas.

Debido a su amplia difusión, a la experiencia acumulada y a las connotaciones económicas que implica su uso, los pavimentos flexibles de capas granulares comprenden casi la generalidad de vías que forman la red de transporte terrestre

nacional. Para la estructuración de este tipo de pavimentos juegan papel importante, en la mayoría de métodos de diseño, dos parámetros: la capacidad de soporte del suelo de sub-rasante y el volumen de tráfico al que estará sujeto la vía.

Método para el Diseño del Pavimento.-

Para efectos de determinar el espesor de pavimentos requerido para una estructura nueva se utilizara el método para diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO. Este método requiere de los siguientes datos:

Valor “S”	:	$s=4.4 \log. CBR + 1.2$
Tráfico	:	N18
Factor Regional	:	II
Serviciabilidad	:	pt = 2.0

El calculo se efectúa en forma inmediata, computarizando la fórmula establecida por el método, utilizando los datos indicados, obteniéndose así el Número Estructural requerido para un pavimento nuevo (SN total).

Análisis de Tráfico.-

La carga y el volumen de tráfico juegan un rol importante en el diseño estructural de pavimentos, particularmente cuando tanto la carga como el número de repeticiones son altos. Sin embargo, cuando ambos factores tienden hacia valores bajos su importancia como parámetros de diseño es relativa. Por ello, es raramente justificable realizar un complejo y preciso análisis de tráfico para caminos de bajo Volumen, con menos de 500 vehículos por día. No obstante, siempre es recomendable tratar de

establecer datos de tráfico realista, para cada caso específico, sobre todo si el tráfico proyectado es mayormente pesado.

Es común en caminos de bajo volumen, no contar con los datos necesarios o con los datos a tiempo para efectuar un análisis de tráfico riguroso, como es nuestro caso.

Tomando en consideración este aspecto y el hecho que los requerimientos de espesores de diseño para pavimentos tienen una variación poco sensible al parámetro de tráfico, para los valores bajos de repeticiones del eje de carga equivalente, se aplicará para fines del análisis del tráfico un método aproximado, recomendado en el manual “SYNTHESIS 4 Structural Design of Low-Volume Roads” TRB.

El método aproximado consiste en determinar un Factor de Tráfico Mixto (M) basado en 3 categorías de porcentajes de caminos (bajo, mediano, alto) y 3 categorías de rango probable de la distribución de ejes de carga (liviano, mediano, pesado), de los camiones .

Una vez estimado el Factor M. el calculo del numero de ejes equivalentes a 18 Kips previsto durante el periodo de diseño, en función de la tasa de crecimiento, se realiza en forma convencional.

Para el calculo del numero de ejes equivalentes durante el periodo de diseño considerado, se dispone de la siguiente información:

Tipo de Camino	:	Asfaltado
Carriles	:	2
Tráfico Promedio Diario	:	35 vpd
Tasa de Crecimiento	:	5 %
Período de Diseño	:	10 años
% Tráfico Pesado	:	> 40 %
N 18/vehículo	:	< 1.5

Definiendo las características del tráfico en función de los parámetros y rangos establecidos:

Porcentaje de Campo	:	Alto
Distribución de Carga	:	Pesado

Se calcula el factor de Composición de Tráfico que corresponde, que será : $M = 110$

El número total acumulado de ejes equivalente de 18 Kip (N 18), durante el periodo de diseño se calcula con la conocida expresión.

$$N_{18} (n \text{ años}) = (TPD \times M) \frac{(1+i)^n - 1}{\ln(1+y)}$$

donde,

TPD	:	Tráfico Promedio Diario
M	:	Factor de Composición de Tráfico

i	:	Tasa de Crecimiento
n	:	Período de Diseño

Reemplazando la información disponible se tiene:

$$N_{18} (n \text{ años}) = (TPD \times M) \frac{(1+i)^{n-1}}{\ln(1+0.05)}$$

N18	(10 años)	=	(IMD X 110) (12.89)
N18	(10 años)	=	(35 X 2) X 1417.9
N18	(10 años)	=	100,000 ejes

El Suelo de Sub-rasante.-

El suelo de sub-rasante es la capa superficial de las explanaciones y sobre el que se construye la estructura del pavimento.

El diseño del espesor del pavimento se basa en el valor de la resistencia mecánica de este suelo. Las ecuaciones de diseño que proporciona el modo se basa en el indicador de la resistencia del suelo más difundido y que se el Valor de soporte de California o C.B.R. (California Bearing Ratio).

En el estudio de suelos realizado, tanto en lo que corresponde a la plataforma de la vía existente como a las zonas de variante con trazo nuevo, se ha encontrado que la condición de soporte del “suelo de sub-rasante” para todo el tramo, considerando la clasificación de los materiales, puede clasificarse como de regular a muy mala, ello

debido a que las secciones correspondientes se encuentran sobre suelos predominantes arenosos-limosos, arenosos arcillosos y arcillosos de mediana a alta plasticidad.

De acuerdo a los términos de referencia del estudio de la determinación de la capacidad de soporte de la sub-rasante se ha efectuado mediante la evaluación deflectométrica de la misma, lo cual ha permitido caracterizar los valores de CBR en base al Módulo de Elasticidad correspondiente al de Hogg.

El CBR de la sub-rasante que será utilizado en el diseño utilizado en el diseño del pavimento (CBR diseño), se calculará en base a criterios estadísticos. Un criterio recomendado por el Instituto del Asfalto para carreteras de importancia, establece que se tomará como CBR de diseño aquel valor que sea igual o menor que el 60% del total de valores de una sección determinada (percentil 60), cuando el tráfico previsto es igual o inferior a 10 ejes equivalente.

Tomando en consideración los criterios procedentes y los resultados de las mediciones de campo, se han establecido las siguientes secciones y sus correspondiente valores de diseño:

SECCION	CBR DISEÑO
	%
Km. 0+000 - Km. 10+000	3,7
Km. 10+000 - Km. 30+000	3,0
Km. 30+000 - Km. 44+000	6,7
Km. 44+000 - Km. 88+638	3,7

Factor Regional.-

Este factor empleado por el método AASHTO, provee los ajustes necesarios para tener en cuenta el efecto del clima o medio ambiente, casi siempre distinto del existente el lugar donde llevó a cabo el AASHTO Road Test (Illinois USA). De esa manera el Factor Regional R es un coeficiente que solo tiene significación en la aplicación del mencionado método, y no puede emplearse fuera de él.

El método para asignar un determinado valor Factor Regional no ha sido definido completamente, dándose originalmente algunos criterios generales para efectuar tal cuantificación. En nuestro país se cuenta con el método expuesto por el Estudio CONREVIAL, en función del parámetro de precipitación pluvial, el que permite efectuar ajustes y verificaciones respecto de los valores encontrados utilizando el método AASHTO.

La selección del Factor Regional es un aspecto que el método deja, en buen parte, a criterio y experiencia del diseñador, basándose en las condiciones hidro-climatológicas observadas en la zona del proyecto. Se recomienda asumir un promedio entre la condición más crítica y más favorable previstas. La condición más crítica es un Factor Regional entre 4.0 y 5.0 para suelos saturados (en época de lluvias, por ejemplo), y la condición más favorable es un Factor Regional entre 0.3 y 1.5, para suelos secos (en “verano”, por ejemplo). La estimación del Regional promedio se realiza analizando la duración de los fenómenos que inciden en la condición del suelo.

Si se asume 3 meses de estación lluviosa ($FR = 4$) y 9 meses de estación seca ($FR = 1.5$), el promedio resulta ser un Factor Regional igual a 2.

Discusión del Diseño.-

Los espesores obtenidos para las diversas capas que conforman el pavimento resultan excesivos, debido a la deficiente capacidad portante del suelo de sub-rasante, la cual ha sido evaluada mediante ensayos in-situ, y por lo tanto reflejan la resistencia del sustrato para condiciones reales.

La problemática de los suelos plásticos no solo comprende la baja capacidad portante que experimentan, sino que además se producen otros fenómenos igualmente perjudiciales como la que genera a la larga la disminución del espesor efectivo del pavimento; el fenómeno de ascensión por capilaridad de finos hacia las capas superiores produce la contaminación inicial de los mismos, y la disminución de su resistencia al corte con el tiempo.

La tecnología de pavimentos brinda en la actualidad diversas soluciones para el tratamiento de la problemática anotada, entre las cuales el uso de materiales que cumplan la función de refuerzo y como elementos filtrantes, son los más adecuados. Dentro de una variada gama de alternativas los geotextiles resultan una posibilidad técnico-económica adecuada.

Consideraciones sobre Geotextiles.-

El uso del Geotextil para el refuerzo de pavimentos se puede dar de tres maneras distintas:

- 1) Geotextil colocado sobre un suelo generalmente con CBR hasta 2 o 3%, recibiendo capas de material arcilloso o de agregado. Utilizado en caminos sin pavimentar, caminos afirmados de bajo volumen de tráfico o caminos de acceso.
- 2) Geotextil colocado sobre un suelo con CBR superior a 2% recibiendo capas de material granular que constituyen la base del pavimento.
- 3) Geotextil colocado sobre una base o una carpeta asfáltica fisurada, y sobre el cual se coloca una capa asfáltica. La tela en este caso cumple la función de evitar o retardar la aparición de fisuras en la nueva de capa.

La investigación tecnología sobre geotextiles ha encontrado que, cuando se coloca una tela entre la sub-rasante y las capas granulares, el material sintético desarrolla tres funciones básicas a la vez: separación, confinamiento y distribución de cargas.

El geotextil al separar físicamente los materiales granulares de la sub-rasante, impide que los finos penetren entre las partículas gruesas y afloren a la superficie, y evita a la vez que las partículas de agregado se hundan en el suelo natural perdiendo su espesor de diseño y su resistencia a las cargas.

El geotextil proporciona una superficie de alta fricción entre el material granular y la sub-rasante, lo cual confina los agregados, haciendo posible que estos mantengan su espesor y capacidad de carga.

La composición del geotextil le confiere características de alta resistencia, permitiéndole soportar las tensiones provocadas por el peso propio de los materiales del pavimento y las cargas de tráfico. La tensión sobre el geotextil contribuye a distribuir la carga en un área mayor, disminuyendo así la magnitud de los esfuerzos unitarios sobre la sub-rasante. La función de refuerzo y distribución de carga hacen posible la reducción del espesor de la base, al actuar como una membrana estructural capaz de resistir y absorber los esfuerzos de tensión.

Investigaciones desarrolladas en la Universidad de Illinois (USA) han permitido establecer el aporte del geotextil en términos de espesor de refuerzo. La conclusión más importante establece que el uso de geotextiles como refuerzo de pavimentos contribuye a un ahorro de 30 a 35% de espesor de pavimento, para carreteras sobre sub-rasante de bajo valor de soporte (CBR <2%).

Aunque al utilización del geotextil para el refuerzo de pavimentos sea hoy una tarea usual e los países tecnológicamente adelantados, no se cuenta sin embargo con muchas referencias significativas sobre la instrumentación y seguimiento de las obras ya realizadas. Los soportes más revelantes de las investigaciones sobre estructuras en servicio provienen de los siguientes estudios:

1. Transportation Road Research Laboratory (Gran Bretaña).
Investigaciones desarrolladas por J.F Pottter y W.H. Curer.

2. University of Nottingham y Georgia Institute of Technology (USA). Investigaciones desarrolladas por Francis Chan, Richard D. Barksdale y Stephen F. Brown.
3. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Francia). Investigaciones realizada por M. Schaeffener y M. Khay.
4. Northern Ireland Roads Service (Irlanda). Investigaciones realizadas en la Universidad de Belfast por A.L. Bell, L.M. MC Cullough y M.S. Smith.

Estos estudios se realizaron para proyectos de suelos con CBR mayor de 2% habiéndose empleado geotextiles tejidos y georedes.

Las Conclusiones más importantes obtenidas a partir de estas investigaciones son:

- Se obtuvo como resultado un esfuerzo traducido en menores deformaciones permanentes. Para los tres tipos de materiales y investigados estos refuerzos varían de 40 a 60%, bajo cargas que varían de 5 kN a 89 kN y frecuencias de cargas de 100,000 y 360,000 ejes, respectivamente.
- Además de la función reforzada que los geotextiles y las georedes demostraron por igual, la mayor eficiencia en la función de separación de los geotextiles respecto a las georedes, fue un aspecto relevante.
- Las características de los materiales ensayados fueron:

MATERIAL	GRAMATURA (g/m²)	RIGIDEZ A 5% (KN/m)
Geotextil tejido	960	753
Geotextil no-tejido	450	ND
Geored	200	280

Las Principales recomendaciones, en cuanto la instalación del geotextil, fueron las siguientes:

- En lo posible se colocará el geotextil sobre la sub-rasante no compactada. La base se colocará en 2 capas; después de colocar la primera capa (50% del espesor total), iniciar la compactación. Se ha demostrado que este procedimiento induce fuerzas de tracción en el geotextil, lo que aumenta su potencial de refuerzo.
- Durante la colocación del geotextil, se debe procurar mantenerlo tensionado (sin arrugas ni dobleces) mediante la fijación del mismo en el suelo.
- Durante la fase constructiva se puede prever una intensa sollicitación del geotextil. Al respecto, la AASHTO-AGC-ARTB Joint Comitee, dio algunas recomendaciones en cuanto a las características de los geotextiles calificados como de durabilidad “Muy alta”.

Resistencia a la tracción	1.20KN
Resistencia al punzonamiento	0.49KN
Resistencia al reventado	2.97KN
Resistencia al desgarre trapezoidal	0.33KN

- Cuando un geotextil entra en servicio, las sollicitaciones más importante que se producen son de desgarre y reventado. En las investigaciones realizadas, donde se emplearon geotextiles de menor gramatura que los especificados, se observó que los geotextiles seleccionados satisfagan simultáneamente todas las condiciones arriba indicadas. Se obtiene entonces que los tipos más adecuados son el geotextil de 400 a 475 gr/m²).

Selección del Tipo de Geotextil a Emplearse.-

Para la selección del tipo de geotextil a emplearse en el refuerzo del pavimento, debemos tener en consideración lo siguiente:

- 1) Durabilidad del geotextil durante la instalación
- 2) Acción del tráfico sobre el pavimento reforzado
- 3) Compactibilidad suelo-geotextil para filtración

Acción del Tráfico sobre el Pavimento Reforzado.-

La acción dinámica del tráfico sobre el pavimento reforzado puede ser evaluado a partir de los métodos de cálculo existentes, para caminos o vías de acceso, como es el caso de los métodos de Giroud y Noiray, Bermberg, Sellmeyer, Rauman, etc.

Utilizando el metodo de Giroud y Noiray , adaptado para el caso de caminos o vias pavimentadas, para suelos con CBR hasta 2% se obtuvo un grado de refuerzo de 30% para el geotextil de los rangos indicados. El coeficiente de rigidez considerado fue del orden de 100 LN/m; para el geotextil confinado en grava hasta 20 Kpa. por otro lado, para suelos con CBR mayor de 6 %, el efecto del geotextil se encuentra que no es significativo.

Por lo tanto, se puede considerar la siguiente variación del refuerzo en función del CBR:

CBR	REFUERZO
%	%
0-2	40
2-4	25
4-6	15
6-8	5

Durabilidad del Geotextil.-

Se ha efectuado un estudio de los geotextiles de 400 a 475 gr/m2, que cumplen las recomendaciones de la AASHTO respecto al particular.

Compatibilidad Suelo-geotextil para Filtración.-

Las características filtrantes de los geotextiles considerados son:

CARACTERISTICAS	UNIDAD	400GR/CM2	475GR/CM2
Diámetro de filtración (Dr)	mm	0.09	0.105
Permisividad	S	1.1	1.0

Aplicando el criterio de filtración recomendado por Giroud para suelos densos (Densidad Relativa superior a 80%) y Coeficientes de uniformidad (Cu) mayor de 3:

$$D_{95} < 18 \times D_{50}/C_u$$

Se ha verificado que los suelos son compatibles con los geotextiles indicados.

De existir en el proyecto suelos con algún grado de incompatibilidad, podrán pasar algunos finos a través del geotextil; sin embargo, la penetración de finos será sensiblemente menor a la que ocurriría en un pavimento sin geotextil.

Consideraciones de Diseño .-

Para efectos del diseño del pavimento, se considerará el aporte del geotextil reduciendo los espesores totales calculados con el método AASHTO. Los porcentajes de reducción se establecen en función de los percentiles de CBR calculados, para cada una de las secciones de diseño.

Alternativa Propuesta.-

Tomando en consideración la abundante experiencia habida en Perú respecto a proyectos en zonas de altura con resultados negativos, propone una alternativa técnico-económica viable. La propuesta consiste en aceptar que el fisuramiento de la carpeta

asfáltica es un hecho que, por la naturaleza del material, se producirá definitivamente. Conscientes de ello, se ha tomado la decisión de proteger las capas resistentes del pavimento (base y sub-base), evitando que estas se saturen con la infiltración de agua que se conduzca a través de las fisuras de la capa asfáltica, flujo que finalmente llega al suelo de sub-rasante, promoviendo su colapso, y en consecuencia el colapso total de la estructura.

Para proteger las capas granulares del pavimento, a pesar que estructuralmente el espesor de 2" es suficiente, se debe colocar una pulgada adicional de carpeta asfáltica para contrarrestar en parte la acción de la gradiente térmica.

Además se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Conformar la capa de sub-rasante, perfilar y compactar a una densidad comprendida entre 85 y 90% de la máxima densidad seca. La terraplenería se efectuará con materiales de préstamo lateral, de no existir bancos de préstamos ubicados a una distancia rentable.
- Colocar la manta geotextil sobre la sub-rasante preparada.
- Colocar la primera capa de material granular con un espesor de 0.15 m., conformar y compactar al 95% de la máxima densidad seca y a la óptima humedad.
- Completar la colocación de las capas granulares indicadas por el diseño, compactándolas a la densidades usadas convencionales.

- Colocar la carpeta asfáltica en caliente en toda la calzada. No hay bermas.

Control de Calidad.-

Se debe necesariamente tomar en consideración cuidados y recomendaciones para la fabricación de la mezcla asfáltica, tales como:

- El uso de un adecuado tipo de asfalto así como el control de su empleo en obra (evitar el sobre-calentamiento, elevar el porcentaje de asfalto en la mezcla, bajos porcentajes de vacíos en la mezcla).
- Mejorar la adherencia asfalto-agregado, para lo cual se requiere:
 - Limpieza del agregado pétreo, mediante un lavado efectivo o pre-tratado con cal hidratada.
 - Uso de un aditivo mejorador de adherencia
 - Mezcla asfáltica rica en bitumen
 - Asfaltados de consistencia adecuada
 - Incorporación de filler en proporciones favorables (que no rigidicen la mezcla).
- Flexibilidad de la mezcla asfáltica, la cual depende principalmente de las características y porcentajes de cemento asfáltico, relación Filler-Asfalto y relación Estabilidad-Fluencia.

El consultor considera que los criterios citados son realmente útiles y contribuyen en su medida a la durabilidad de la mezcla asfáltica, sin embargo, ninguna de ellos contribuyen a que la mezcla asfáltica adquiriera la propiedad de Resistencia a la tracción, que es el tema fundamental en que se basa la propuesta del Consultor. Como ya se mencionó líneas arriba, un concreto asfáltico no es capaz de resistir esfuerzos de tracción de la magnitud de los que se producen las cargas de tráfico y menos las sollicitaciones de orden térmico.

5.4 ESTUDIO DE TRAFICO

5.4.1 ESTUDIO DE TRANSITO Y CAPACIDAD VEHICULAR

Con el objeto de conocer el flujo vehicular del área del proyecto en ambos sentidos, se efectuó entre los días 12 y 18 de Enero de 1995 el recuento de vehículos mediante la instalación de una Estación Censal ubicada en la Garita de Control de Puquio.

Se establecieron 3 turnos diarios para la toma de datos sobre los vehículos que transitan por el tramo Puquio - Desvío Pamapachiri en ambos sentidos, no considerando aquellos vehículos que se dirigían o procedían de Cora Cora, ya que el desvío hacia ese poblado se ubica antes del inicio del tramo en estudio.

Se optó por una sola estación Censal en vista que todo aquel vehículo que ingrese a la ruta solo puede salir de ella en el desvío a Pampachiri y no se puede acceder al tramo en estudio desde otro origen que no sea vía Challhuanca o vía Pampachiri.

Resultado de los Conteos Vehiculares.-

Como ya se indicó, se tomo en cuenta todo tipo de vehiculo que entrara o saliera del tramo en estudio, es decir todo aquel vehiculo que tuviera su origen o paso obligado por la ciudad de Nasca, o aquellos que tuvieran como origen las ciudades de Cusco y Abancay o los poblados de Challhuanca y Pampachiri.

Los tipos de vehículos que transitan por la zona se dividieron en dos grandes grupos: tránsito liviano compuesto por automóviles y camionetas; y transito pesado, conformado por omnibuses, camiones de 2 y 3 ejes y traylers.

El resultado del conteo fue el siguiente:

Tipo de Tráfico	Vol. Sem.	Vol. Acum.	% Sem.	% Acum.
Liviano				
Autos	2		1.01	
Camionetas, microbuses	44	46	22.22	23.23
Pesado				
Omnibuses	72		36.36	
Camión 2 ejes	55		27.78	
Camión 3 ejes	25		12.63	
Traylers	0	152	0	76.77
TOTAL		198		100.00

De los resultados obtenidos día a día incluyendo el origen y destino de cada vehiculo censado se puede concluir en lo siguiente:

a.- El tránsito de automóviles en la ruta es prácticamente inexistente. Esto debido principalmente que para este tipo de vehículo el estado del pavimento hace sumamente difícil la transitabilidad. Durante los 7 días que duro el conteo solo 2 unidades de automóviles pasaron por la ruta.

b.- El volumen de camionetas y microbuses es bastante mayor que el de automóviles, representando un 22% del total del tránsito que soporta el tramo.

c.- El volumen del tránsito pesado es sin lugar a dudas el más importante en la zona, ya que entre todos los tipos de vehículos pesados conforman el 77% del tráfico que soporta la vía.

Con los resultados del conteo se determinará la proyección del tránsito, según tipo de usuario: "existentes", derivados y los inducidos o generado, aunque en el presente caso no existe la posibilidad de usuarios "derivados", por cuanto el trazado de la vía configura una ruta sin alternativa posible de transporte como para producirse este tipo de usuario.

De otra parte y como consecuencia de ser el tramo en estudio parte de la ruta principal para la interconexión Lima - Nasca - Abancay - Cusco, existente con una calzada afirmada que en el promedio data de unos 40 años, el tráfico a inducirse como consecuencia de la rehabilitación y mejoramiento programados al parecer no sería muy significativo, por tal motivo el tráfico existente o actual, constituye la base principal para la proyección del tránsito futuro.

Para efectos de la proyección indicada, se ha indagado en las oficinas del MTCVC sobre información correspondiente a la serie histórica de los volúmenes de tránsito en la ruta, sin embargo no se ha encontrado suficiente información al respecto, por ello para el cálculo de las proyecciones tendrá necesariamente que tomarse en cuenta algunos factores difíciles de cuantificar tales como el incremento del turismo, el tráfico de la ruta Lima- Arequipa- Juliaca - Cusco que puede ser capturado por una ruta mas corta como la Nasca- Cusco una vez la vía se encuentre mejorada substancialmente.

Calculo del IMD.-

De los resultados obtenidos en los conteos de tráfico se tiene un volumen total de 198 vehículos semanales, lo que da un promedio de 28 vehículos/día.

Para el cálculo del IMD se ha tomado como factores de corrección 1.2 para los días de semana y 1.3 para los sábados y domingo.

$$IMD = [(5PL) \times 1.2 + (2DL) \times 1.3] / 7$$

donde:

$$(5PL) = 140 \text{ vehiculos}$$

$$(2DL) = 58 \text{ vehiculos}$$

luego:

$$IMD = 35 \text{ veh/dia}$$

5.4.2 TRAFICO EN LA CARRETERA NASCA - CUSCO

Se ha considerado para los cálculos como año base, 1995 y el año de apertura del proyecto , 1999, por lo tanto, es en aquel año que el Tráfico Actual o Normal, el Tráfico Desviado y el Tráfico Generado va a mostrar un incremento apreciable.

La ciudad de Puquio, se encuentra a 130 km. de la ciudad de Nasca, centraliza gran parte de la actividad comercial y económica de la zona y es fuente de aprovisionamiento de subsistencias alimentarias básicas para los poblados de las áreas vecinas, los mismos que tienen como su actividad principal la agropecuaria.

El Tráfico Desviado se origina como consecuencia de que el usuario que actualmente tiene origen Cusco y destino Lima o viceversa y emplea la carretera Cusco - Arequipa - Lima, cambiará de ruta cuando la carretera Nasca- Abancay- Cusco esté rehabilitada por ofrecer una menor distancia de aproximadamente 450 km.

Para el Tráfico Generado se ha considerado el 15% del IMIDA de 1974 correspondiente al tramo, por tratarse de un año que en Perú se vivió en condiciones normales y que resulta conservador comparado con recientes experiencias en otras carreteras.

5.5 DISEÑO DE PAVIMENTO Y SECCIONES TÍPICAS DEL MISMO

5.5.1 EVALUACION DEL PAVIMENTO

El ancho de la actual superficie de rodadura es variable con mínimos de 4.50 m y máximos de 7.00 m., por tramos cuenta con bermas no definidas de anchos variables. La superficie actual la constituye un afirmado muy deteriorado.

Evaluación superficial.-

La evaluación del estado superficial del pavimento ha comprendido fundamentalmente los aspectos que inciden en el comportamiento funcional de la estructura, abarcando las siguientes tareas:

- 1.- La evaluación de las fallas o deterioros de la superficie del pavimento, observable visualmente.
- 2.- La evaluación de la capacidad de servicio o servicialidad del pavimento.

Evaluación de las capas del Pavimento mediante Calicatas y Ensayos de Laboratorio

Para la evaluación de las diversas capas del pavimento, se llevó a cabo un programa de excavación de calicatas, a las que se denomina Calicatas Tipo I, las cuales se excavaron ubicándolas en ambos lados de la pista, igualmente espaciadas a una distancia de 500 m y a una profundidad de 1.50 m.

En total se excavaron 178 prospecciones superficiales, las que alcanzaron una profundidad promedio de 1.50 m. dimensión que permitió un adecuado estudio de las

capas. En cada perforación se midieron cuidadosamente los espesores de la capa de afirmado existente. Los materiales fueron clasificados visualmente de acuerdo al SUCS (procedimiento de campo) .

Adicionalmente se excavaron 17 calicatas profundas, como parte del estudio de la sub-rasante, como se detalla mas adelante, de donde se extrajeron muestras en los materiales del afirmado, las cuales fueron llevadas al laboratorio para su análisis.

Evaluación de la Sub-rasante mediante Calicatas y Ensayos de Laboratorio

A fin de evaluar las características físico-mecánicas del suelo de sub-rasante, y así poder verificar los resultados proporcionados por la evaluación deflectométrica, se excavaron 17 calicatas tipo 2, las que se ubicaron de acuerdo a los resultados de los ensayos de deflexión, a fin que cada sub-tramo seleccionado en base a este parámetro, fuese estudiado convenientemente.

La profundidad alcanzada en todos los pozos fue de 1.50 m, a excepción de aquellos donde se encontró formaciones rocosas. En cada ubicación se efectuaron rutinariamente ensayos de densidad de campo, a 0.50 y 1.00 m. de profundidad, se registró el perfil estratigráfico y se muestrearon los materiales de las diversas capas del pavimento y la sub-rasante para ser ensayados en el laboratorio.

5.5.2 JUICIO SOBRE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Condición superficial del pavimento.-

Si bien el estudio fue inicialmente definido para efectuar un proyecto de rehabilitación, luego de la primera inspección a la vía y después de sucesivos

estudios, se encontró que el pavimento afirmado existente prácticamente a desaparecido, ya sea por el largo periodo de servicio transcurrido luego de su construcción (mas de 50años), como por los sucesivos trabajos de mantenimiento efectuados (bacheos y reconformación), la mayoría de ellos con materiales no seleccionados.

Medición de ahuellamientos.-

Luego de procesados los datos del ahuellamiento del pavimento, se observa que prácticamente la totalidad de la superficie presenta deformaciones permanentes significativas. Los ahuellamientos severos se hacen críticos en las zonas de suelos plásticos, en donde la transitabilidad es prácticamente nula.

Relevamiento de fallas.-

Los resultados del relevamiento de fallas presentan, en general, que la incidencia de fallas y deterioros es similar a todo lo largo de la carretera en estudio. Las fallas mas recurrentes consisten en ahuellamientos, ondulaciones, baches y hundimientos. Durante la ejecución de los estudios se ha observado la ejecución de trabajos de mantenimiento en zonas donde la magnitud de los deterioros era severa (zona de localidad de Negromayo), abarcando los trabajos la reconformación total de la plataforma.

Perfil estratigráfico.-

Estructura del Pavimento:

La información obtenida en los trabajos de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio permiten inferir sobre las características de las capas del pavimento y los suelos de sub-rasante.

El pavimento afirmado, en donde existe, esta compuesto por una capa cuyo espesor oscila entre 20 y 50 cm. y constituida por materiales de calidad inferior; en todos los casos se han utilizado materiales naturales con partículas de forma sub-redondeada a sub-granular, provenientes de cortes o materiales de préstamo no seleccionado.

Los materiales del afirmado son mayoritariamente gravas mal graduadas, con finos limosos plásticos, clasificados como GM y también arenas limosas y arcillosas, clasificadas como SM y SC respectivamente.

Suelos de Sub-rasante:

Los resultados de los ensayos de laboratorio en cuanto a la clasificación y plasticidad de los suelos de sub-rasante, son concordantes con la naturaleza y el origen coluvial, aluvional y lagunar de los depósitos encontrados.

En la parte inicial del tramo, del km 0+000 al km 10+000, los suelos de sub-rasante están compuestos fundamentalmente por materiales finos o materiales granulares con matriz fina; estos suelos se definen, como arenas arcillosas (SC) y arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad (CL,CH).

Del km 10+000 al km 20+000, el suelo de sub-rasante está compuesto por gravas y arenas limosas de origen residual coluvial. De acuerdo al sistema SUCS estos materiales se clasifican GM o SM. Estos materiales se presentan con plasticidad baja o nula. Es importante la presencia localizada de estratos de materiales orgánicos, los cuales se ubican con profundidades superiores a 1 m., detectados mediante la evaluación deflectométrica efectuada.

Entre el km 20+000 y el km 30+000, se presentan suelos arcillosos y limosos plásticos, provenientes de la descomposición de rocas metamórficas de origen sedimentario. En este tramo se producen deformaciones extensivas de magnitud severa, indicando el colapso del suelo por saturación.

En el tramo de km 30+000 al 44+000, los suelos de sub-rasante están constituidos por materiales coluviales y rocas ígneas con diverso grado de alteración. La matriz que prima son las arenas limosas y arcillosas (SM y SC). Entre el km 32 y 35 se observan depósitos de conglomerados gravosos con bolonería aluvional.

A partir del km 44+000, aproximadamente, empieza la zona de puna, predominando concordantemente los suelos de origen lagunar (arcillas de mediana y alta plasticidad) o en su defecto suelos limosos de mediana plasticidad (CL, CH, SM, respectivamente). Hacia el final del tramo, a partir del km 70, los suelos que predominan son arenas limosas no plásticas (SM).

En cuanto a la capacidad portante, los ensayos de CBR de laboratorio dan resultados variables que oscilan entre 2.8% y 29% (a la óptima humedad y al 95% de la máxima

densidad seca). Sin embargo, los suelos en campo presentan densidades y humedades mas desfavorables que las empleadas en laboratorio. En general, la densidad de los suelos in-situ no supera el 90% de la máxima densidad de laboratorio. En promedio la compactación de los suelos es de 81.5%, siendo el valor mas bajo 69.8% y el mas alto 89.9%. Para estas condiciones encontradas, se puede afirmar que la capacidad de soporte de los suelos será mucho mas baja que los valores teóricos de laboratorio.

Resultados de los ensayos de Deflexiones.-

El valor de la Deflexión Máxima tiene relación con la resistencia del suelo de subrasante, por lo que su magnitud se puede inferir "a priori" sobre la resistencia o soporte de dicha capa. Un valor "bajo" de la Deflexión Máxima expresa buen comportamiento de los suelos; valores "altos" determinan lo contrario. Sin embargo, el valor de la deflexión que se obtenga dependerá de la magnitud de la carga empleada durante los ensayos, por lo que el análisis para un caso particular será relativo a las características propias de dicho caso. Esta situación es fundamental para los métodos de análisis empírico, por lo que para ellos la carga esta estandarizada.

Cuando el método de análisis tiene base racional, mecanística o matemática, no cuenta tanto la magnitud de la Deflexión cuanto la forma de la deformada, por lo que la magnitud de la carga puede resultar intrascendente siempre y cuando se tenga en cuenta la tendencia no-lineal de los suelos estudiados.

Del deflectograma obtenido, se puede observar que la magnitud de la deflexión varia entre valores tan bajo como $D_m = 0.08$ mm y tan altos como $D_m = 2.0$ mm, siendo el promedio, para todo el tramo, igual a 0.97 mm. Los valores altos de deflexión

máxima encontrados están asociados con deficiencias en el suelo de sub-rasante (baja densidad, alta humedad) o con la pobre calidad de los materiales (suelos con alto contenido de finos, suelos arcillosos). Los valores bajos corresponden a zonas de suelos confinados, lugares con presencia de conglomerado gravosos (terraplenes de gran potencia) o suelos con componente rocoso.

En base a los valores de deflexión máxima medido, es posible efectuar una división del tramo en secciones de características similares. El cuadro siguiente muestra los resultados:

Nº	SUB -TRAMO	Dm. prom	DESV. STD	COEF. VAR.
1	Km 0+000 – Km 10+000	90.4	21.5	23.7
2	Km 10+000 – Km 30+000	121.6	42.9	35.4
3	Km 30+000 – Km 44+000	58.6	35.7	60.9
4	Km 44+000 – Km 88+638	99.2	42.1	42.4

Capacidad estructural del Pavimento.-

Luego de estudiado el pavimento afirmado existente y evaluadas las condiciones en que se encuentra, se concluye que no presenta condiciones mínimas para ser tomado en cuenta, para efectos de estructurar el nuevo pavimento.

Para efectos de diseñar la nueva estructura se considerará la eliminación de la capa superior existente.

5.5.3 METODOS Y DISEÑO DE REFUERZO DEL PAVIMENTO

Diseño por Congelamiento.-

De acuerdo con los registros termométricos obtenidos por el SENAMHI con estación en Pampachiri se analizaron los últimos 29 años con temperaturas mas bajas y críticas hasta la fecha, registrándose los inviernos más severos los años 1967 y 1972, de los cuales se tomó el promedio de las temperaturas mas bajas y para la temperaturas máximas el promedio de aquellas que se registraron en los días de temperaturas mínimas de ambos años; según los siguiente:

Temperatura máxima del año 1967 = 14.8 °C

Temperatura máxima del año 1972 = 19.8 °C

Para el cálculo del Índice de Congelamiento (IC) se consideraron ls temperaturas en que ocurre el congelamiento y la temperatura máxima registrada, obteniéndose así la temperatura promedio ponderada para cada mes, es decir, se consideró 03 horas con temperaturas máximas entre las 11:00 y 14:00 horas y 21 horas con temperaturas bajas, entre las 14:00 y 11:00 horas del día siguiente.

Con el valor del IC se obtienen las profundidades de penetración en pulgadas y penetración de la helada en función del contenido de humedad esperado de la base; los cuales se promedian para obtener un solo espesor total del paquete estructural.

Posteriormente se consideró como espesor de la superficie de rodadura de Mezcla Asfáltica en Caliente de 3", basados en el transito esperado; descontándose éste espesor para luego corregir y obtener el espesor del material granular no susceptible

al congelamiento, para protección parcial de la subrasante, en base al espesor del material granular no susceptible al congelamiento, para protección total de la subrasante.

Es importante precisar que para la obtención de un IC mas fidedigno se deberá obtener mayor información termométrica diaria, para todo el periodo de invierno; de 10 o mas años, permitiendo así la elaboración de una gráfica acumulativa de grados-día, en función del tiempo expresado en días.

En el presente caso, el IC se ha afectado de un factor de corrección igual a 1.4 que contempla la carencia de mayores datos termométricos. Por otro lado, es necesario establecer el número de horas con temperaturas inferiores a 0°C y el número de horas sobre 0°C para lo cual se hace imprescindible contar con un Termógrafo, el que permitirá obtener la variación térmica en función de las horas diarias.

Los espesores resultantes del diseño por congelamiento, empleando el Método del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. son los siguientes:

Superficie de Rodadura (MACS)	= 7.5 cm
Base Anticongelante	= 20.0 cm
Sub-base drenante	= 20.0 cm

Diseño de Pavimentos flexibles (Método AASHTO - 1993).-

Para efectos de determinar el espesor de pavimento requerido para una estructura nueva se empleó el método para diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO-1993. Este método requiere los siguientes datos:

- Modulo de resistencia del material de fundación (MR)
- Nivel de seguridad para arterias y/o carreteras principales (R)
- Desviación standard para pavimentos flexibles (So)
- Variación total del índice de serviciabilidad ($PSI = p_t - p^o$)
- Numero de repeticiones de EE de 8.2 tn.

Los espesores resultantes del diseño por AASHTO-1993 son los siguientes:

Superficie de Rodadura(MACS)	= 7.5 cm
Base Granular	= 15.0 cm
Sub base Granular	= 20.0 cm

5.5.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.-

- Los espesores resultantes del diseño empleando el Metodo AASHTO-1993 para el tramo km 00+000 al km 44+000, son los siguientes:

Superficie de Rodadura(MACS)	= 7.5 cm
Base Granular	= 15.0 cm
Sub base Granular	= 20.0 cm

- Los espesores resultantes del diseño por Congelamiento empleando el Método del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. para el subtramo entre km 44+000 al km 89+836, son los siguientes:

Superficie de Rodadura (MACS)	= 7.5 cm
Base Anticongelante	= 20.0 cm
Sub-base Drenante	= 20.0 cm

- Las bermas tendran como superficie de rodadura concreto asfáltico del mismo espesor que cubrirá la calzada completamente.

Recomendaciones.-

- Con el objeto de obtener un diseño de mezcla asfáltica de mejor calidad, es recomendable considerar la adición de filler en las canteras recomendadas para Mezclas Asfálticas en Caliente. En el presente caso será cal hidratada en una proporción de 1.5% a 2.0% (ASTM C-207 Tipo N) en peso del total de la mezcla, siendo mas recomendable, éste último para reducir la susceptibilidad de la mezcla asfáltica en presencia de agua (Norma AASHTO M 303-89)
- El empleo de filler garantiza una buena cohesión, resistencia al rápido envejecimiento y por consiguiente una menor fragilidad de la mezcla.
- En todas las canteras localizadas, deberá eliminarse el material orgánico superficial (vegetación y materiales inadecuados), en un espesor de acuerdo a cada caso.

- En el caso de Mezclas de Concreto con Cemento Portland, se recomienda fabricar probetas testigos con diferentes relaciones agua-cemento, basados en el diseño teórico variando en ± 0.1 , a fin de elegir la dosificación adecuada.
- Para incrementar el rendimiento de las canteras y el agregado resultante cuente con las características ideales, deberán ser tratadas mediante Venteo o Lavado, con la finalidad de reducir la cantidad de materia orgánica y finos pasantes de la malla N°200, en especial para el uso en mezclas de concreto con Cemento Portland.
- En caso de que los ensayos de afinidad agregado-bitumen y aún con el uso de la cal hidratada como filler no se cumpla con las especificaciones se efectuaran ensayos complementarios con la adición de un aditivo mejorador de adherencia tipo amina en una proporción de 0.50% del peso del cemento asfáltico, con la finalidad de mejorar la afinidad del agregado fino con el asfalto de la mezcla asfáltica en caliente.
- Las mezclas destinadas a carpetas asfálticas en caliente, concreto con cemento Portland, se realizarán de acuerdo a las granulometrias solicitadas en las Especificaciones Técnicas y al resultado de la trituración del agregado grueso.
- La cantidad de polvo del material en la planta de asfalto será controlada por medio de un recuperador de polvo de los agregados en los casos que sean necesarios.
- El agregado fino (arena) se obtendrá del zarandeo del hormigón natural, para luego proceder a su lavado, sólo para M.C.C.P.

- En los casos en los cuales la subrasante o terreno sean de condición mala a pésima (suelos A-5, A-6, A-7) y con la verificación de la Supervisión se colocará un Geotextil de 400 gr/cm².
- Se deberá tener especial cuidado en el tratamiento de disminuir el pasante del tamiz N°200, entre 0% a 5%, incrementandose el porcentaje de agregado triturado.
- Cuando se realice la mezcla de agregados de diferentes canteras según su caso, el mismo se efectuará en Obra, llevando un control esiricto, con la finalidad de obtener la proporción adecuada.

5.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOTEXTILES

5.6.1 GEOTEXTIL DE REFUERZO

Los Geotextiles deberan cumplir con las exigencias de la norma AASHTO año 1996.

Conceptos Generales.-

El termino “pavimento” tiene dos significados: en el más restringido, se refiere exclusivamente a la capa de rodadura que se coloca en la parte superior de los caminos. Se dice asi: un pavimento concreto, pavimento asfáltico, etc.

En el sentido más amplio. el concepto abarca al conjunto de capas de diferentes materiales, que incluye a la superficie de rodadura y además a una o más capas de base y a la sub-rasante, o el suelo resistente natural. desde que la función estructural

de un pavimento requiere de dicho conjunto, el uso más apropiado del termino corresponde al segundo significado.

Funciones.-

El pavimento estructuralmente tiene dos funciones principales: Una es la de transmitir al suelo natural las cargas derivadas del tránsito de los vehiculos sin sufrir por ello deformaciones permanentes: la segunda es la resistir la abrasión o desgaste producido por el tráfico en movimiento, como funciones secundarias se pueden citar: la de proporcionar condiciones de suavidad al manejo de los vehículos, facilidad de frenado y suficiente adherencia de las ruedas. En el conjunto, el pavimento deberá ofrecer adecuada resistencia a los cambios de humedad y temperatura además de estar protegido de la acción del agua de lluvia o de filtraciones que tienden a hacer que el pavimento pierda cohesión y, por lo tanto: estabilidad.

Materiales .-

Los pavimentos pueden ser hechos enteramente con materiales naturales del suelo (tierra, piedra, arena, etc.) o también incluyendo materiales fabricados como concreto de cemento y concreto asfáltico, además de otros materiales sintéticos que se usan para estabilizar la base (geotextiles no tejidos) y las capas de rodadura.

5.6.2 USO DE GEOTEXTILES EN CARRETERAS

La tecnología textil moderna permite producir telas que se utilizan en mejores métodos de construcción y mantenimiento de carreteras y en la preservación del medio ecológico, protegiendo el suelo. El desarrollo de floras textiles

manufacturadas a partir de sintéticos, como el poliéster y de procesos textiles como el sistema de producción de estructuras y de telas no tejida corresponden al ramo geotextil de creciente utilidad en la ingeniería caminera, hidráulica y geológica.

En carreteras sobre suelo sensibles al agua, la utilización de elementos geotextiles como tela no tejida permite controlar mejor los estratos granulares, al actuar como contención de los agregados finos y filtro de agua, con el resultado de la mayor resistencia en la estructura. De otro modo el agua arrastra el material fino que puede sedimentar obstruyendo el drenaje y provocando saturación a perderse raleando la estructura, todo lo cual significa deterioro y un mayor costo en el mantenimiento de los caminos.

5.6.3 ESTABILIZACION DE SUELOS CON GEOTEXTIL

El geotextil no tejido es colocado a nivel de sub-rasante por las siguientes razones:

Cuando la capacidad portante del suelo es muy baja, sus valores llegan hasta 10% (CBR).

Cuando la estructura existente aporta muy poco: la pobre capacidad de soporte de la sub-rasante o al uso exclusivo de material de base para la construcción de la capa.

Para evitar los problemas relacionados con la fatiga térmica, debido a las gradientes de temperatura altas, caso de la serranía peruana.

Incremento en el costo final de la obra, consecuencia de la lejanías de las canteras o de la no suficiencia de estos en el área circundante a la obra.

Si se tipifica en el suelo de fundación presencia de arcillas expansivas o de cualquier material que ocasione daños a la estructura del pavimento.

Si el agua se filtra en el suelo o a través de la estructura del pavimento, variando el contenido de humedad de este, lo que le haría perder estabilidad a corto plazo.

Si se desea que se incremente la vida útil del pavimento, que no exista contaminación entre sus capas granulométricas, que su sistema de drenaje sea óptimo al igual que su sistema de filtración .

Cuando al realizarse las pruebas de los materiales granulares, estas habrán arrojado un comportamiento estructural bajo.

Cuando se haya limitado el nivel de la rasante existente, de tal forma que no se le permita incrementarla para llegar hasta el CBR de diseño y estos tengan que utilizarse necesariamente. En tal caso se necesita crear una fuerza de empuje que no permita el hundimiento de estos materiales por su propio peso, o de una buena estabilización.

5.6.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL GEOTEXTIL A USAR

<u>PROPIEDAD</u>	<u>NORMA ASTM</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>VALOR. REQ</u>
Resistencia a la tracción (carga distribuida)	4595	KN/m	min 25
Elongación en la ruptura	4595	%	min 60
Resistencia a la tracción (carga concentrada) metodo Grab	4632	N	min 1,800
Elongación en la ruptura	4632	%	min 70
Resistencia al reventado	3786	Kpa	min 4,300
Permeabilidad normal	4491	cm/s	min 0.30
Apertura aparente	4751	mm	min 0.10

Consideraciones sobre Geotextiles No Tejido.-

El aporte estructural del geotextil no tejido (refuerzo) eta en intima relación con la capacidad portante de sub-rasante; es decir, cuanto m,ayor sea la capacidad portante del suelo (CBR) menor será el aporte estructural del geotextil no tejido.

Para un geotextil no tejido de las características técnicas arriba mencionadas tenemos.

<u>CBR</u>	<u>REFUERZO CON GEOTEXTIL (%)</u>
0 - 2	40
2 - 4	25
4 - 6	15
6 - 8	08
8-10	03

Cuando un geotextil no tejido entra en servicio, las solicitaciones más importantes que se producen son el reventado y su resistencia a la tracción por carga distribuida.

Las solicitaciones por instalación son debido al manipuleo y/o accidentes, por ello se toma en consideración su resistencia a la tracción por carga concentrada.

Para que el Geotextil no tejido comience a trabajar en toda su magnitud, este deberá estar lo más tenso posible desde el momento de su instalación. Procurar evitar las arrugas. En caso de deterioros por perforación o rasgaduras accidentales, se recomienda usar parches para evitar su discontinuidad en sus funciones, separación, drenaje y filtración.

Selección del tipo geotextil a emplearse.-

Según el tipo de clasificación: Geotextil no tejido

Geotextiles no tejido: Material permeable, en el que sus filamentos no siguen una dirección determinada: es decir son multidireccionales.

Según su materia prima: Poliéster estabilizado

Poliéster: Mejores propiedades físico - mecánicas, estabilizado (protección de rayos UV).

Según el tipo de filamentos: Continuos

Filamentos continuos: Su longitud es indefinida por lo que se corta de acuerdo a su diseño. Alcanza grandes resistencias mecánicas. Su uso es geotécnico.

Según el sistema de unión de los filamentos: Agujado

Agujados: Cuando la unión se hace mecánicamente.

Según las propiedades que presentan: Isotrópicos

Isotrópicos: Sus propiedades de resistencias mecánicas, hidráulicas, físicas no dependen de la dirección en que se miden.

5.6.5 DISEÑO DE GEOTEXTIL USADO

A continuación realizamos el diseño del geotextil usado en la carretera “ Puquio – Challhuanca, tramo Puquio – desvío Pampachiri.” Siguiendo la metodología estudiada en el presente trabajo, para lo cual hemos tomado los datos necesarios del Expediente Técnico:

Indice Medio Diario (IMD) : 35 vpd

Transito de diseño : 100 000 ejes

Presión de inflado : 100 psi = 690 kPa

CBR de diseño: 3.00 %

Sub-base Granular : Tamaño Máximo : $d_a = 101.6 \text{ mm}$ (4")

Permeabilidad (k) = $2.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$

$D_{85} = 0.085 \text{ mm}$

Metodología de Diseño:

1. Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

- Asumimos $FS_g = 2.0$ y $FS_p = 2.0$
- Con $p' = 690 \text{ kPa}$ y

$D_a = 4$ " en la gráfica correspondiente, encontramos :

$T_{req\text{diseño}} = 2200 \text{ kPa}$

Geotextiles que cumplen esta condición :

Geotextiles No Tejidos : NT 3000, NT 4000, NT5000

Geotextil Seleccionado: NT 3000.

2. Resistencia a la Tensión (GRAB)

Verificamos el Geotextil seleccionado NT3000

- $T_{ult} = 800 \text{ N}$

- Elongación = 50 % y $f(\epsilon) = 0.50$
- $d_a = 4''$
- $P' = 690 \text{ kPa}$
- $F_{Sp} = 2.0$
- Reemplazamos en la fórmula de $F_{Sg} = 1.04 > 1$ OK!

Geotextil seleccionado : NT3000

3. Resistencia al Punzonamiento

Consideramos los siguientes datos: Geotextil NT3000

- $T_{ult} = 800 \text{ N}$
- $F_{Sg} = 2.0$ y $F_{Sp} = 2.0$
- $D_a = 101.6 \text{ mm} = 4''$
- $P' = 690 \text{ kPa}$
- Factores $S_1 = 0.33$
 $S_2 = 0.31 / d_a = 3 \times 10^{-3}$
 $S_3 = 0.5$
- Reemplazamos en la fórmula de $F_{Sg} = 4.39 > 1$ OK!

Geotextil seleccionado : NT3000

4. Criterio de Retención (TAA)

Criterio de retención: Suelos finos : $TAA < 0.3 \text{ mm}$

Geotextil NT3000 : $TAA = 0.15 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$ OK!

Geotextil seleccionado : NT3000

5. Criterio de Permeabilidad

$K_g > K_{suelo}$

- $K_g = 0.4$
- $K_{suelo} = 2.5 \times 10^{-6}$
- Por lo tanto $k_g > k_{suelo}$ OK!

Geotextil seleccionado : NT3000

Datos de Geotextil NT3000.-

Peso	:	400 gr/cm ²
Espesor	:	2.40 mm
Geotextil de Separación	:	NT3000
Resistencia al estallido (BURST)	:	2210 kPa
Resistencia a la tensión (GRAB)	:	800 N
Resistencia al Punzonamiento	:	460 N
Tamaño de Apertura Aparente	:	0.15 mm
Permeabilidad	:	0.44 cm/s
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	:	320 N

Debemos indicar que además se pueden usar los geotextiles NT4000, NT5000 y NT6000.

5.6.6 RECOMENDACIONES PARA SUS INSTALACION

Para preparar el terreno donde será instalado el geotextil no son necesarios cuidados especiales, los materiales punzantes deben ser eliminados para asegurar la continuidad del geotextil.

En lo posible se colocará geotextil sobre la subrasante no compactada. La base será colocada en capas según indique el diseño. La capa inicial será de 0.30 m. como mínimo, para permitir el acceso de vehículos de transporte. Este procedimiento induce fuerzas de tracción en el geotextil, lo que aumenta su potencial de esfuerzo.

Durante la instalación del geotextil se deberá tensarlo evitando arrugas. En el caso de curvas se permitirá dobleces.

Evitar la presencia de agua pues la saturación promoverá un aumento de peso en geotextil (5 o 9 veces), lo cual dificultará su manipuleo.

Los traslapes se hacen en la dirección en que se procede el trabajo, para que los vehículos no levanten las zonas de traslapes.

Vehículos con ruedas neumáticas pueden transitar sobre el geotextil sin dañarlo, evitando frenadas bruscas.

Es recomendable que los volquetes que transportan el material entren en retroceso y vacíen el material sin tocar directamente el geotextil.

El proceso de compactación no sufre variación con respecto a los procesos normales.

5.7 PRESUPUESTO BASE

A continuación se muestra el Presupuesto Base de la obra “Rehabilitación y Mejoramiento de la Cartera Puquio – Challhuanca; tramo Puquio – Desvio Pampachiri” , el cual asciende a :

PRESUPUESTO BASE : S/. 112 751 674.46

Con precios a Noviembre de 1996.

PRESUPUESTO ACTUALIZADO: S/. 150 616 304.56

REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PUQUIO-CHALLHUANCA

TRAMO I : PUQUIO - DESVIO PAMPACHIRI

PRESUPUESTO BASE

Area Geográfica :

3

Fecha:

Nov-96

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
1.00	OBRAS PRELIMINARES					
1.01	Movilizacion y Desmovilización de equipos	Glb	1.00	419191.66	419191.66	419191.66
2.00	MOVIMIENTOS DE TIERRAS					
2.01	Corte en material suelto	m3	566893.89	3.95	2239230.87	
2.02	Corte en roca suelta	m3	184999.40	10.71	1981343.57	
2.03	Corte en roca fija	m3	93877.79	15.22	1428819.96	
2.04	Conformación de terraplenes	m3	404570.95	3.32	1343175.55	
2.05	Eliminación de material orgánico	m2	77211.00	0.72	55591.92	
2.06	Preparación de terreno para relleno	m2	381763.60	1.22	465751.59	
2.07	Conformación de subrasante en zona de corte	m2	537688.31	1.02	548442.08	8062355.55
3.00	PAVIMENTOS					
3.01	Sub-base	m3	172308.25	24.60	4238782.95	
3.02	Base granular	m3	127835.08	38.67	4943382.54	
3.03	Imprimación asfáltica	m2	830132.15	0.55	456572.68	
3.04	Carpeta asfáltica en caliente	m3	51604.58	75.40	3890985.33	
3.05	Geotextil	m2	781295.13	9.74	7609814.57	
3.06	Asfalto RC-250	gl	186779.73	2.68	500569.68	
3.07	Asfalto sólido PEN 85/100	gl	2167392.45	2.23	4833285.16	
3.08	Filler	tn	2382.07	486.12	1157971.87	27631364.78
4.00	TRANSPORTES					
4.01	Transporte de material granular hasta 1 km	m3xkm	1346169.00	5.63	7578931.47	
4.02	Transporte de material granular despues 1 km	m3xkm	9917288.00	2.06	20429613.28	
4.03	Transporte de mezcla asfáltica hasta 1 km	m3xkm	40329.68	10.83	436770.43	
4.04	Transporte de mezcla asfáltica despues 1 km	m3xkm	1053233.88	1.62	1706238.89	30151554.07
5.00	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE					
5.01	Excavación manual para estructuras	m3	7813.92	21.87	170890.43	
5.02	Excavación a máquina para estructuras	m3	27843.18	6.11	170121.83	
5.03	Relleno compactado para estruct C/mat. Propio	m3	1039.51	27.49	28576.13	
5.04	Relleno compactado a maquina	m3	17319.60	6.38	110499.05	
5.05	Demolición de estructuras existentes	m3	77.00	57.06	4393.62	
5.06	Encofrado y desencofrado	m2	17478.77	40.11	701073.46	
5.07	Encofrado para superestructura	m2	82.40	57.30	4721.52	
5.08	Falso puente	ml	7.70	677.50	5216.75	
5.09	Acero de refuerzo	kg	6117.40	2.90	17740.46	
5.10	Concreto f'c = 140 kg/cm2	m3	5392.23	257.00	1385803.11	
5.11	Concreto f'c = 175 kg/cm2	m3	133.80	287.98	38531.72	
5.12	Concreto f'c = 210 kg/cm2	m3	79.58	308.64	24561.57	
5.13	Juntas	m2	297.59	4.50	1339.16	
5.14	Apoyos de neoprene	un	8.00	269.32	2154.56	
5.15	Junta metálica en puente	ml	19.20	672.87	12919.10	
5.16	Baranda metálica	ml	12.00	604.28	7251.36	
5.17	Pintura en baranda metálica	ml	12.00	9.75	117.00	
5.18	Alcantarilla TMC 36"	ml	4203.47	300.27	1262175.94	
5.19	Alcantarilla TMC 48"	ml	829.36	458.80	380510.37	
5.20	Alcantarilla TMC 60"	ml	260.01	652.27	169596.72	
5.21	Alcantarilla TMC 72"	ml	119.07	875.60	104257.69	
5.22	Revestimiento para salida de alcantarillas	m2	494.00	63.04	31141.76	
5.23	Cunetas revestidas	ml	83215.00	90.69	7546768.35	
5.24	Zanjas laterales	ml	774.00	123.99	95968.26	
5.25	Sub-drenaje	ml	480.00	212.47	101985.60	
5.26	Tubo PVC-SAP de 3"	ml	544.63	14.67	7989.72	12386305.25
6.00	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL					
6.01	Demarcación de pavimentos - linea continua	ml	17695.00	18.47	326826.65	
6.02	Demarcación de pavimentos - linea discontinua	ml	3317.70	22.57	74880.49	
6.03	Demarcación de pavimentos - Pint. Zonal y simb.	m2	897.00	22.99	20622.03	
6.04	Señales preventivas	un	449.00	285.78	128315.22	
6.05	Señales reglamentarias	un	52.00	218.82	11378.64	
6.06	Señales informativas (Elaboración de señal)	m2	17.37	358.32	6224.02	
6.07	Señales informativas (Elaboración poste soporte)	ml	108.08	81.94	8856.08	
6.08	Señales informativas (Colocación poste soporte)	m3	8.32	223.50	1859.52	
6.09	Postes kilométricos	ml	88.00	44.88	3949.44	
6.10	Guardavías	un	1080.00	122.47	132267.60	715179.68
7.00	MANTENM. VIAL DURANTE LA CONSTRUCC.					
7.01	Mantenim. Vial durante la construcción	glb	1.00	600796.43	600796.43	600796.43
TOTAL COSTO DIRECTO						79966747.42
GASTOS GENERALES FIJOS (0.65%)						519783.86
GASTOS GENERALES VARIABLES (7.82%)						6253399.65
MANTENIMIENTO DE TRANSITO POST CONSTRUCCION (1.02%)						815660.82
UTILIDAD (10%)						7996674.74
TOTAL PRESUPUESTO BASE SIN IMPUESTOS						95552266.49
IGV (18%)						17199407.97
TOTAL						112751674.46

**MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
 VIVIENDA Y CONSTRUCCION
 PROYECTO ESPECIAL REHABILITACION INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTES
 PERT
 REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA
 CARRTERA PUQUIO - CHALLHUANCA
 TRAMO : PUQUIO - DESVIO PAMPACHIRI**

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

PARTIDA: GEOTEXTIL
 CODIGO: 3.05
 UNIDAD: m2
 REND: 800 m2/dia

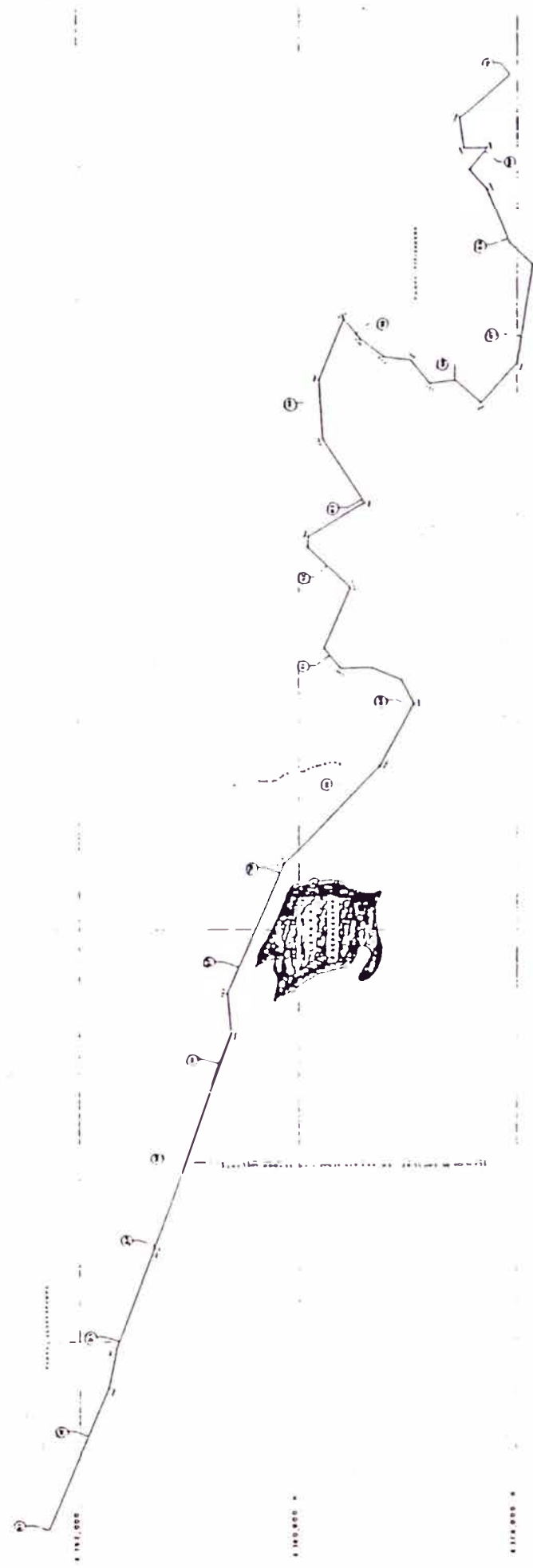
Area geográfica
 Fecha:

3
 Nov-96

CODIGO	COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
	MANO DE OBRA					
47	Capataz B(0.5)	hh	0.01	10.71	0.05	
47	Peón (2)	hh	0.02	6.87	0.14	0.19
	MATERIALES					
30	Geotextil no tejido, fibras continuas de poliester 300-400 gr/cm2	m2	1.05	9.08	9.53	9.53
	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
37	Herramientas	%	5.00		0.01	0.01
	TOTAL COSTO UNITARIO					9.73

PLANOS

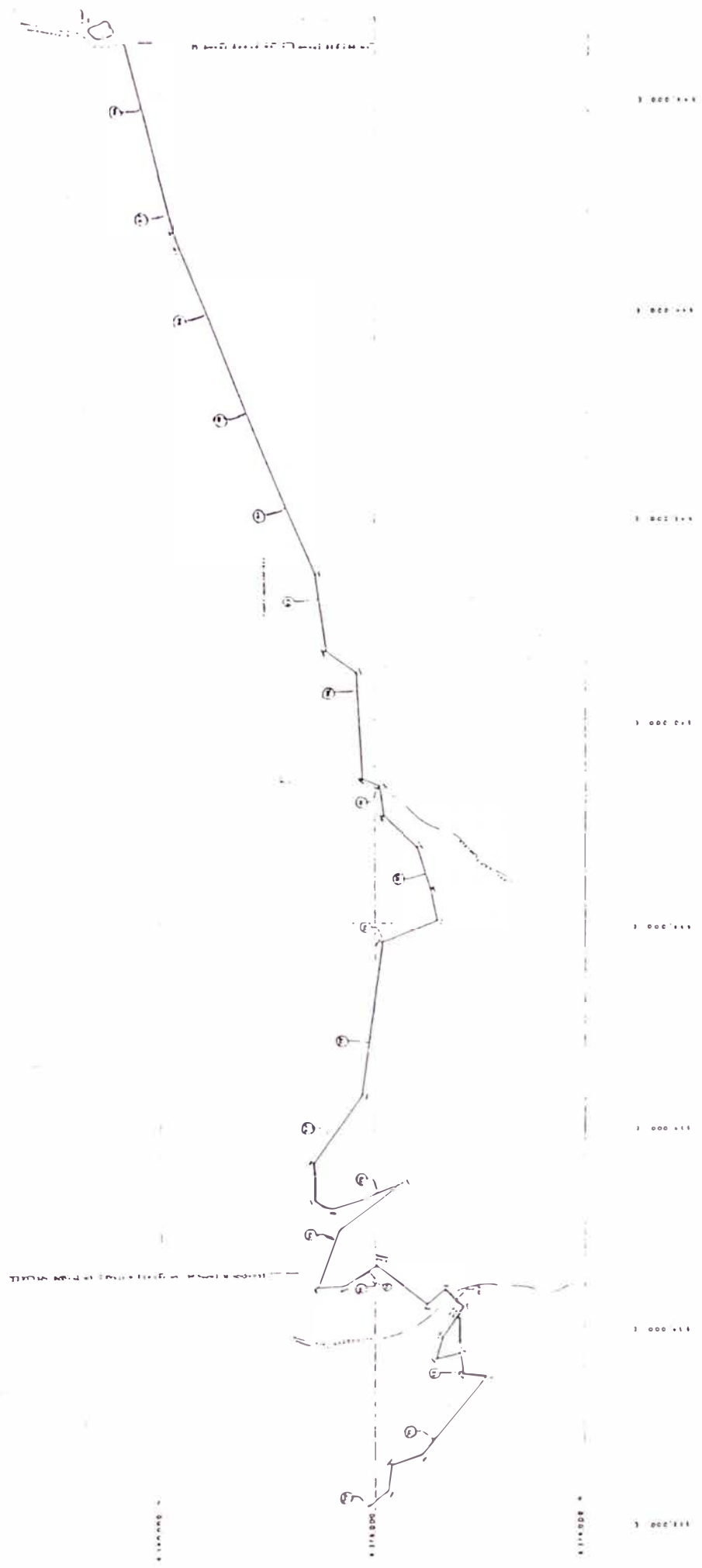
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000



0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

EICA CONSULTORES S.A.

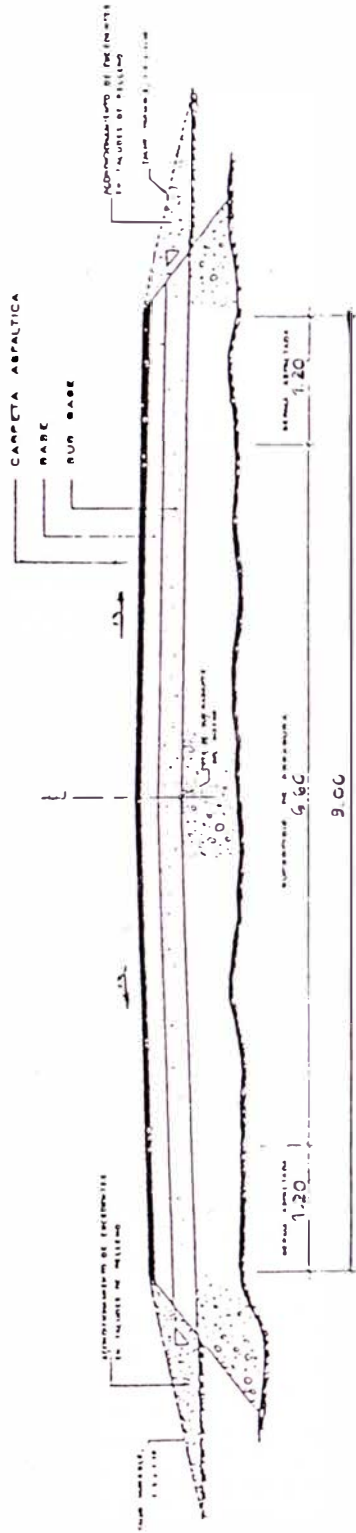
ADECUACION Y ACTUALIZACION DE OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
 PARA LAS ZONAS DE INTERCOMUNICACIONES Y VIALIDAD
 MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES Y VIALIDAD
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS
 PLANIFICACION Y MONITOREO DE LA CUANTIA APROVECHADA
 TUBO 1: PUNTO DE ORIGEN APROVECHADO
 KM. 12.17 - S.A. 12.17
 PLAN CLAVE
 KM. 12.17 - S.A. 12.17
 EICA Consultores S.A.
 03



ADOCIÓN Y ACTUALIZACIÓN SEGUN CONTINUA UNIFORMIDAD DE Eficacia	
para el sistema de carreteras	(Escala)
MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, ENERGÍA Y MINERÍA - COTOPACUM	
RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA NACIONAL PRIMARIA TRONCO I, PUNTO - PUNTO NUMERACION Km. 000+00 - Km. 000+00	
PLANO CLAVE KM.000000 - KM.000000	
EICA Consultores S.A.	

EICA CONSULTO

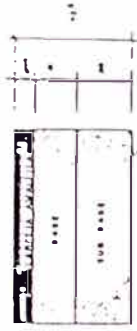
SECCION TIPICA



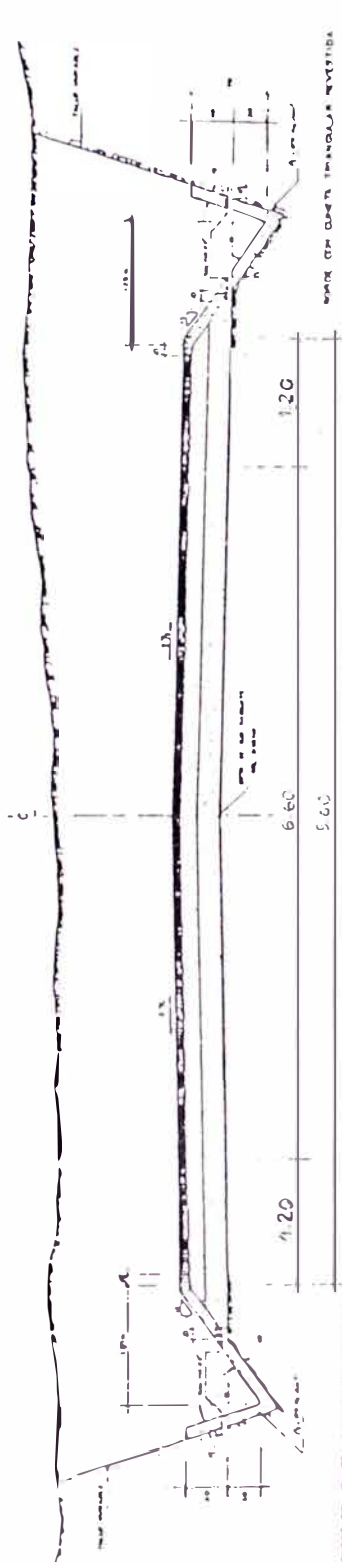
SECCION EN RELLENO

Km. 0+000 AL Km. 4+000

Malla - GECTEXTIL (m)
 Para ver especificaciones y condiciones de suministro de GECTEXTIL en los planos de las especificaciones de la obra, consultar el Manual de Obras de la ODESA, Vol. 1, Capitulo III, Seccion 3.1.1.1.1.

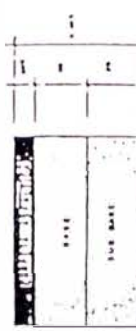


SECCION EN CORTE CERRADO

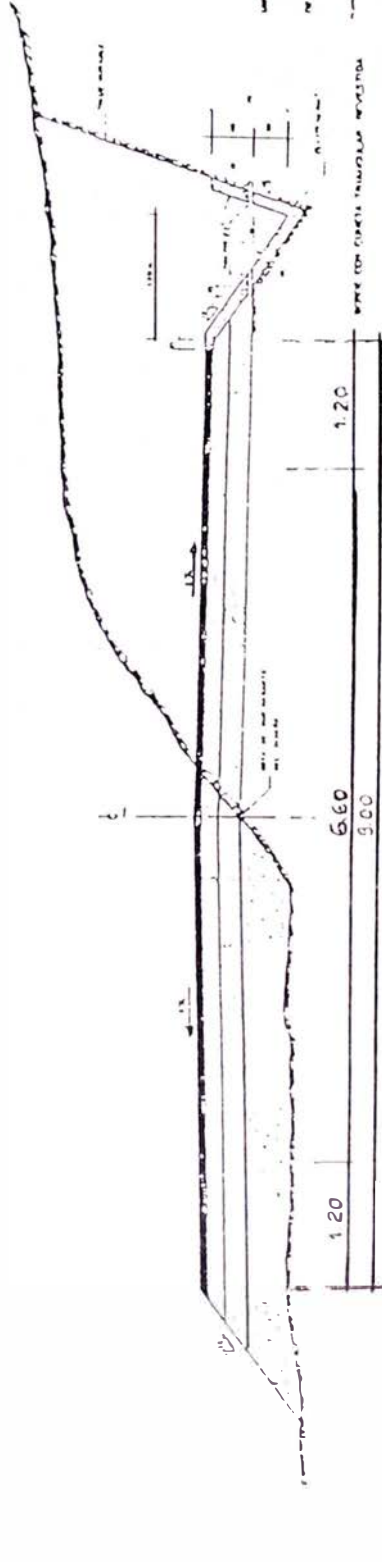


Km. 4+000 AL Km. 8+838

Malla - GECTEXTIL (m)
 Para ver especificaciones y condiciones de suministro de GECTEXTIL en los planos de las especificaciones de la obra, consultar el Manual de Obras de la ODESA, Vol. 1, Capitulo III, Seccion 3.1.1.1.1.



SECCION EN MEDIA LADERA



INSTITUTO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, ENERGIA Y CIENCIA
 INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
 INSTITUTO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, ENERGIA Y CIENCIA
 TRONCO II, PUNTO 1, CARRETERA PANAMA OMA
 No. 33337 - PANAMA, PANAMA

SECCION TIPICA

ST-01

EICA Consultores S.A.

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los geosintéticos son materiales sintéticos, cuyo principal beneficio es que aportan las propiedades y funciones que no poseen los materiales naturales, para el diseño y la construcción de todo tipo de obras.
- El uso de geotextiles, reduce sustancialmente la explotación y el transporte de materiales naturales no renovables, disminuyendo así el impacto ambiental de la construcción.
- En la construcción de vías, las principales funciones que cumplen los geotextiles son la de separación y refuerzo antes que la de filtración y drenaje en el plano.
- La investigación tecnológica sobre geotextiles ha encontrado que, cuando se coloca una tela entre la sub-rasante y las capas granulares, el material

sintético desarrolla tres funciones básicas a la vez: separación, confinamiento y distribución de cargas o refuerzo.

- Los geotextiles permiten la construcción de vías sobre suelos blandos y saturados, por lo tanto, se debe incentivar su uso en la selva de nuestro país, donde para aumentar el CBR del terreno, siguiendo de la manera tradicional, tendríamos que colocar terraplenes de hasta más de dos metros a lo largo de toda la vía.
- Investigaciones desarrolladas en la Universidad de Illinois establecieron que el uso de geotextiles como refuerzo de pavimentos contribuye a un ahorro de 30 a 35% de espesor de pavimento, para carreteras sobre sub-rasantes de bajo valor de soporte (CBR = 2%).
- El sistema de fabricación por agujado del geotextil permite separar físicamente los materiales granulares de la sub-rasante impidiendo que los materiales finos penetren entre las partículas gruesas y viceversa, conservando así, cada capa sus características específicas, evitando una posible deformación del pavimento.
- Para que los geotextiles funcionen correctamente en las estructuras de pavimento se requiere un adecuado proceso de instalación. Aunque las técnicas de instalación son simples, la mayoría de los problemas de los geotextiles colocados en las vías ocurren por procesos incorrectos de instalación.

- Cuando un geotextil entra en servicio, las sollicitaciones mas importantes que se producen son de desgarre y reventado.
- Para preparar el terreno donde será instalado el geotextil no son necesarios cuidados especiales, los materiales punzantes deben ser eliminados para asegurar la continuidad del geotextil. Las raíces, vegetación pueden quedar ya que estas confieren una cierta distribución de esfuerzos con excepción de los troncos de árboles.
- En lo posible se colocará el geotextil sobre la sub-rasante no compactada. La base se colocará en 2 capas, después de colocar la primera capa, iniciar la compactación. Se ha demostrado que este procedimiento induce fuerzas de tracción en el geotextil, lo que aumenta su potencial de refuerzo.
- Con el fin de evitar el humedecimiento y la degradación originada por la radiación ultravioleta de los rollos de geotextil, estos deberán estar protegidos por una envoltura plástica, además debe preverse que los rollos estén protegidos con una cubierta impermeable y levantados sobre el piso.
- El ahorro que se obtiene al sustituir capas de material seleccionado granular por un geotextil es muy grande, teniendo en cuenta el costo de la construcción en sí, y el tiempo de la construcción.

- En general, por su utilización contribuyen a reducir costos y mejoramientos de rendimiento de obra con los beneficios correspondientes, llegando a colocar a los geotextiles y a los demás geosintéticos como materiales de una nueva generación.
- Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta es que se obtienen sobre todo considerables ahorros en el mantenimiento de las carreteras, lo cual se adecuaría a nuestra realidad, siendo una razón más para recomendar su uso.
- La forma de especificar un geotextil es muy importante, ya que es la vía válida para desarrollar un contrato que pueda dar los resultados esperados por el uso de geotextiles.
- Se debe desarrollar un correcto Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC), tanto en el proceso de diseño como en el de instalación, en consonancia con las normas ISO, y no dejar como única fuente de aseguramiento al fabricante.
- Desde el punto de vista del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), indispensable en cualquier proyecto, el uso de geotextiles, al ser éste un material sintético, involucra un menor uso de materiales que son recursos no renovables, evitando de esta manera una degradación significativa del ecosistema.

**ANEXOS Y PANEL
FOTOGRAFICO**

GEOTEXTILES TEJIDOS Marzo 1999

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400
Método Grab							
• Resistencia a la Tensión	ASTM D-4632	N (lb)	630 (142)	800 (180)	1050 (236)	1300 (292)	1550 (348)
• Elongación		%	17	16	15	17	18
Método Tira Ancha							
• Sentido Longitudinal	ASTM D-4595	kN/m	13	24	24	31	35
• Elongación		%	11	17	17	19	23
• Sentido Transversal	ASTM D-4595	kN/m	18	24	31	37	45
• Elongación		%	12	12	13	14	15
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	385 (87)	550 (124)	600 (135)	730 (164)	840 (189)
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	230 (52)	260 (58)	350 (79)	440 (99)	530 (119)
Método Mullen Burst							
• Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2170 (315)	3170 (460)	3650 (530)	4270 (620)	4820 (700)
Tamaño de Abertura Aparente	D-4751	mm (No. Tamiz)	0.25 (60)	0.21 (70)	0.25 (60)	0.25 (60)	0.18 (80)
Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	0.6 X 10 ⁻²	1.8 X 10 ⁻²	1.6 X 10 ⁻²	1.1 X 10 ⁻²	0.8 X 10 ⁻²
Permitividad	ASTM D-4491	s	0.15	0.30	0.25	0.15	0.10
Espesor	ASTM D-5199	mm	0.40	0.60	0.65	0.75	0.80
Tipo de polímero	Fabricante		PP	PP	PP	PP	PP
Rollo Ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85
Rollo Largo	Medido	m	200	160	120	100	100
Rollo Area	Calculado	m ²	770	616	462	385	385
Filtración							
Drenaje							
Separación							
Estabilización							
Refuerzo							



1. ALCANCE

1.1. Esta es una especificación para materiales que cubre los geotextiles para su uso en drenajes subsuperficiales, separación, estabilización, control de erosión, barreras temporales contra sedimentos y telas para repavimentación. Esta es una especificación para la adquisición de materiales y se recomienda una revisión del diseño según el uso.

1.2. Esta no es una especificación de construcción o diseño. Esta especificación se basa en la supervivencia de los geotextiles por los esfuerzos de instalación. Refiérase al Apéndice A de esta especificación para las guías de construcción con geotextiles.

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

2.1. Normas AASHTO

- T 88 Análisis del Tamaño de Partículas de los Suelos
- T 90 Determinación del Límite Plástico y del Índice de Plasticidad de los Suelos
- T 99 Las Relaciones Humedad - Densidad de los Suelos usando un martillo de 2.5 kg y altura de caída de 305 mm
- Normas ASTM
- D123 Terminología Estándar relacionada con los Geotextiles
- D276 Método de Ensayo para la Identificación de Fibras en Geotextiles
- D3786 Método de Ensayo para la Resistencia por el Reventón Hidráulico de Artículos Anudados y Telas no Tejidas
- D4354 Práctica de Muestreo de Geosintéticos para Ensayos
- D 4355 Método de Ensayo para el Deterioro de los Geotextiles a la Exposición por Luz Ultravioleta y Agua (Aparato Tipo Arco Xenón)
- D4439 Terminología para los Geosintéticos

- D4491 Método de Ensayo para la Permeabilidad de Agua de los Geotextiles por la Permitividad
- D4533 Método de Ensayo para la Resistencia al Rasgado Trapezoidal de los Geotextiles
- D4632 Método de Ensayo Grab para la Determinación de la Carga de Rotura y Elongación de los Geotextiles
- D4751 Método de Ensayo para la Determinación del Tamaño de Apertura Aparente de los Geotextiles
- D4759 Práctica para la Determinación de la Conformidad de Especificaciones de los Geosintéticos
- D4833 Método de Ensayo para la Resistencia al Punzado de los Geotextiles, Geomembranas y Productos Relacionados
- D4873 Guía para la Identificación, Almacenamiento y Manejo de los Geotextiles
- D5141 Método de Ensayo para determinar la Eficiencia de Filtración y Tasa de Flujo para Aplicaciones de Barreras contra Sedimentos usando Suelos de Sitios Específicos

2.2. Departamento de Transporte de Texas. Manual de Procedimientos de Ensayos

- TEX 616 J Retención de Asfalto y Potencial de Cambio de Área

3. REQUERIMIENTOS FÍSICOS

3.1. Las fibras usadas en la fabricación de geotextiles y los hilos usados para la unión de los geotextiles mediante costura, deben consistir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos de por lo menos un 95% en peso de poliolefinas o poliésteres. Deben conformar una malla estable de tal forma que los filamentos o fibras mantengan su estabilidad dimensional en relación con los otros, incluyendo los orillos

3.2. Los geotextiles usados para aplicaciones de drenaje subsuperficial, separación, estabilización y control permanente de erosión deben cumplir los requerimientos físicos de la sección 7. Los geotextiles usados para las barreras temporales contra sedimentos deben cumplir los requerimientos físicos de la sección 8 y los geotextiles usados para repavimentación deberán cumplir los requerimientos físicos de la sección 9.

3.3. Todos los valores de las propiedades a excepción del Tamaño de Apertura Aparente (TAA) en esta especificación, representan los valores mínimos promedios por rollo (VMPR) en la dirección principal más débil (por ejemplo, los resultados promedio de ensayo de cualquier rollo en un lote muestreado para determinar mediante ensayos su conformidad o aseguramiento de calidad deberán cumplir exceder los valores mínimos suministrados aquí). Los valores para el TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

4. CERTIFICACION

4.1. El contratista debe suministrar al Ingeniero, un certificado donde constate el nombre del fabricante, el nombre del producto, composición química de los filamentos o cintas y otra información pertinente que describa totalmente al geotextil.

4.2. El fabricante es el responsable de establecer y mantener un programa de control de calidad que asegure el cumplimiento con los requerimientos de la especificación. Cuando se requiera debe estar disponible la documentación que describa el programa de control de calidad.

4.3. El certificado del fabricante debe hacer constar que el geotextil suministrado cumple con los requerimientos VMPR de la especificación tal como se evaluó bajo el programa de control de calidad del fabricante. El certificado debe ser autenticado por

una persona que tenga autoridad legal para hacer comparecer al fabricante.

4.4. Un etiquetado o una representación errónea de los materiales será razón para rechazar aquellos productos geotextiles.

5. MUESTREO, ENSAYOS Y ACEPTACION

5.1. Los geotextiles estarán sujetos al muestreo y ensayo para verificar si están conformes con esta especificación. El muestreo para ensayo deberá estar de acuerdo con la norma ASTM D 4354. La aceptación deberá basarse en los ensayos a las muestras obtenidas bien sea por el procedimiento A de la norma ASTM D 4354 o basado en las certificaciones del fabricante y el ensayo de las muestras de aseguramiento de la calidad obtenidas siguiendo el procedimiento B de la norma ASTM D 4354. El tamaño del lote para determinar la conformidad o el muestreo para el aseguramiento de la calidad será considerado como la cantidad del envío de un producto determinado o la carga de un camión de un producto determinado, cualquiera que sea el más pequeño.

5.2. Los ensayos deberán desarrollarse de acuerdo con los métodos referidos en esta especificación para la aplicación indicada. El número de especímenes a ensayar por muestra se especifican en cada método de ensayo. La aceptación del geotextil deberá basarse en la norma ASTM D 4759. La aceptación del producto es determinada mediante la comparación de los resultados promedio de los ensayos de todos los especímenes dentro de una muestra dada para cumplir con las especificaciones. Refiérase a la norma ASTM D 4759 para mayores detalles en relación con los procedimientos de aceptación de los geotextiles.

6. ENVIO Y ALMACENAJE

6.1. El etiquetado, envío y almacenaje deben seguir la norma ASTM D 4873. Las etiquetas de los productos deben mostrar claramente el nombre del fabricante o del proveedor, nombre del estilo y el número del rollo. Cada documento de envío debe incluir una

nota certificando que el material cumple con el certificado del fabricante.

6.2. Cada rollo de geotextil debe estar envuelto con un material que protegerá al geotextil de los daños debidos al envío, agua, exposición solar y contaminantes. La envoltura de protección debe mantenerse durante los periodos en envío y almacenaje.

6.3. Durante el almacenaje, los rollos de geotextil deben permanecer elevados del piso y adecuadamente cubiertos para protegerlos de lo siguiente: daños en el sitio de construcción, precipitación, radiación ultravioleta prolongada incluyendo la luz del sol, químicos que sean ácidos o bases fuertes, llamas incluyendo las chispas de soldadura, temperaturas por encima de los 71°C, y cualquier otra condición ambiental que pueda afectar los valores de las propiedades físicas del geotextil.

7. REQUERIMIENTOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS GEOTEXTILES EN DRENAJE SUBSUPERFICIAL, SEPARACION, ESTABILIZACION Y CONTROL PERMANENTE DE EROSION

7.1. Requerimientos Generales

7.1.1. La Tabla 1 suministra las propiedades de resistencia para las tres clases de geotextiles. El geotextil debe cumplir con las propiedades de la Tabla 1 basado en la clase de geotextil requerido en las Tablas 2, 3, 4 ó 5 para la aplicación indicada.

7.1.2. Todos los valores numéricos de la Tabla 1 representan los valores VMPR en la dirección más débil. Las propiedades requeridas del geotextil para cada clase dependen de la elongación del geotextil. Cuando se requieren juntas cosidas, la resistencia de la costura, tal como se mide según la norma ASTM D 4632, debe ser mayor o igual al 90% de la resistencia Grab especificada.

7.2. Requerimientos para Drenaje Subsuperficial

7.2.1. Descripción. Esta especificación es aplicable a la colocación de un geotextil contra un suelo para permitir el paso de agua a largo plazo dentro de un sistema de drenaje subsu-

perficial reteniendo el suelo del sitio. La función principal del geotextil en aplicaciones de drenaje subsuperficial es la filtración. Las propiedades de filtración están en función de la gradación del suelo in situ, la plasticidad y las condiciones hidráulicas.

7.2.2. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 2. Los geotextiles tejidos de película cortada (p.e., geotextiles hechos de hilos o cintas de forma plana) no serán aceptados para esta aplicación. Todos los valores numéricos de la Tabla 2, excepto el TAA representan el VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan valores máximos promedios por rollo.

7.2.3. Los valores de las propiedades de la Tabla 2 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo la mayoría de las condiciones de construcción. La nota 2 de la Tabla 2 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 2 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

7.3. Requerimientos para Separación

7.3.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso de un geotextil que prevenga la mezcla del suelo de subrasante y un agregado de cobertura (sub-base, base, materiales seleccionados para terraplenes, etc.) Esta especificación también puede aplicar a otras situaciones diferentes a su colocación por debajo de una estructura de pavimento donde se requiera la separación entre dos materiales disímiles pero donde la infiltración de agua a través del geotextil no sea una condición crítica.

7.3.2. La aplicación de separación es apropiada para estructuras de pavimento construidas sobre suelos con un CBR mayor o igual a 3 (Esfuerzo constante aproximadamente mayor que 90 kPa). Es apropiado para suelos de subrasante no saturados. La función principal de un geotextil en esta aplicación es la separación.

7.3.3. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 3.

dos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

7.3.4. Los valores de las propiedades de la Tabla 3 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo la mayoría de las condiciones de construcción. La nota 1 de la Tabla 3 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 3 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

7.4. Requerimientos para Estabilización

7.4.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso de un geotextil en condiciones húmedas y de saturación para suministrar las funciones de separación y filtración simultáneamente. En algunas instalaciones, el geotextil también puede suministrar la función de refuerzo. La estabilización es aplicable a las estructuras de pavimento construidas sobre suelos con un CBR entre 1 y 3 ($1 < \text{CBR} < 3$) (Esfuerzo cortante aproximadamente entre 30 kPa y 90 kPa).

7.4.2. La aplicación de estabilización es apropiada para suelos de subsistente que estén saturados debido a un nivel freático alto o debido a periodos de tiempo húmedo prolongados. Esta especificación no es apropiada para el refuerzo de terraplenes donde las condiciones de esfuerzos puedan causar fallas globales de la fundación o de estabilidad.

7.4.3. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 4. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

7.4.4. Los valores de las propiedades de la Tabla 4 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo la mayoría de las condiciones de construcción. La nota 1 de la Tabla 4 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades

cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 4 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

7.5. Control Permanente de Erosión

7.5.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso del geotextil entre sistemas blindados de absorción de energía y el suelo in-situ para prevenir las pérdidas de suelo resultantes de un escurrimiento excesivo y para prevenir subpresiones hidráulicas que causen una inestabilidad del sistema de control permanente de erosión. Esta especificación no aplica para otro tipo de materiales geosintéticos para el control de erosión del suelo tales como los mantos de refuerzo para el césped.

7.5.2. La función principal del geotextil en los sistemas de control permanente de erosión es la filtración. Las propiedades de filtración de los geotextiles están en función de las condiciones hidráulicas, la gradación del suelo in-situ, la densidad y la plasticidad.

7.5.3. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 5. Los geotextiles tejidos de película cortada (p. e., geotextiles hechos de hilos o cintas de forma plana) no serán admitidos. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

7.5.4. Los valores de las propiedades de la Tabla 5 representan valores por defecto que suministran una supervivencia suficiente del geotextil bajo unas condiciones similares o menos severas que aquellas descritas en la nota 2 de la Tabla 5. La nota 3 de la Tabla 5 tiene en cuenta una reducción en los requerimientos mínimos de las propiedades cuando hay suficiente información disponible sobre la supervivencia o cuando se reduce el potencial de daños por construcción. El ingeniero también puede especificar propiedades diferentes de aquellas enunciadas en la Tabla 5 basado en el diseño ingenieril y la experiencia.

8. REQUERIMIENTOS PARA BARRERAS TEMPORALES CONTRA SEDIMENTOS

8.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso del geotextil como interceptor vertical permeable diseñado para remover los sólidos suspendidos del flujo de agua que viene de arriba del terreno. La función de una barrera temporal contra sedimentos es filtrar y permitir el asentamiento de las partículas de suelo del agua cargado con sedimentos. El propósito es prevenir que el suelo erosionado sea transportado fuera del sitio de construcción por el derramamiento de agua.

8.2. Requerimientos para el Geotextil. El geotextil usado para barreras temporales contra sedimentos puede estar apoyado entre postes con cables o mallas poliméricas entre sí. El geotextil para barreras temporales contra sedimentos debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 6. Todos los valores numéricos representan los VMPR en la dirección principal más débil. Los valores del TAA representan los valores máximos promedios por rollo.

8.3. Debe efectuarse una observación en campo para verificar que la colocación del sistema blindado no daña al geotextil. La altura mínima desde el piso para todas las barreras contra sedimentos debe ser de 760 mm. La profundidad de empotramiento mínima debe ser de 150 mm. Refiérase al Apéndice para unos requerimientos de instalación más detallados.

9. REQUERIMIENTOS PARA GEOTEXILES DE PAVIMENTACION

9.1. Descripción. Esta especificación es aplicable al uso de telas para pavimentación saturadas con cemento asfáltico entre dos capas de pavimento. La función de la tela para pavimentación es la de actuar como una membrana impermeable y aliviadora de esfuerzos dentro de una estructura de pavimento. Esta especificación no tiene por intención describir los sistemas de membrana específicamente diseñados para las juntas de pavimentos y reparaciones locales.

9.2. Requerimientos para el Geotextil de Pavimentación. La tela para pavi-

mentación debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 7. Todos los valores numéricos en la Tabla 7 representan los VMPR en la dirección principal más débil.

APENDICE

GUIAS DE CONSTRUCCION E INSTALACION

A 1. GENERAL

A 1.2. Este Apéndice tiene por objeto ser utilizado junto con la especificación AASHTO M288-96 para geotextiles. La especificación detalla las propiedades de los materiales para los geotextiles usados en drenaje, control de erosión, separación/estabilización, barreras contra sedimentos y aplicación de geotextiles para pavimentación. Las propiedades de los materiales son solo un factor en una instalación exitosa que involucre a los geotextiles. Las técnicas adecuadas de instalación y construcción son esenciales con el fin de asegurar que la función con la cual va a cumplir el geotextil sea cumplida.

A 1.3. Identificación, Embalaje y Almacenaje del Geotextil

A 1.3.1. Refiérase a la norma ASTM D 4873

A 1.4. Exposición del Geotextil después de su Colocación

A 1.4.1. Las exposiciones atmosféricas de los geotextiles a los elementos después de su colocación en el sitio deberá ser como máximo de 14 días para minimizar daños potenciales.

A 1.5. Juntas

A 1.5.1. Si se va a efectuar una junta con costura para la unión del geotextil, el hilo debe consistir de polipropileno o poliéster de alta resistencia. El hilo de nylon no debe ser usado. Para las aplicaciones de control de erosión el hilo también debe ser resistente a la radiación ultravioleta. El color del hilo debe contrastar con el del geotextil mismo.

A 1.5.2. Para las juntas con costuras que vayan a ser realizadas en el sitio, el contratista debe suministrar al menos 2 metros de longitud de la junta cosida para ser analizada por el Ingeniero antes de que el geotextil sea instalado. Para las juntas que sean cosidas en la fábrica el Ingeniero debe obtener

muestras de las juntas hechas en la fábrica aleatoriamente de cualquier rollo de geotextil que sea usado en la obra.

A 1.5.2.1. Para las juntas que sean cosidas en el campo, las juntas cosidas utilizadas para el muestreo deben ser cosidas utilizando el mismo equipo y procedimiento que los que serán usados para las juntas en el sitio. Si las juntas se cosen en el sentido longitudinal y transversal, se deberá suministrar las muestras de ambos sentidos.

A 1.5.2.2. La descripción del ensamblaje de la junta debe ser suministrada por el Contratista junto con la muestra de la junta. La descripción debe incluir el tipo de la junta, el hilo para la costura y la densidad de las puntadas.

A 2. GEOTEXTILES PARA DRENAJE (Ver las Secciones 7.1 y 7.2)

A 2.1. Construcción

A 2.1.1. La excavación de la trinchera debe ejecutarse de acuerdo con los detalles de los planos del proyecto. En todos los momentos la excavación debe ser hecha de tal manera que se prevengan grandes vacíos en los lados y el fondo de la trinchera. La superficie gradada debe ser suave y libre de mugre.

A 2.1.2. Durante la colocación del geotextil para aplicaciones de drenaje, el geotextil debe colocarse suelto sin arrugas ni dobleces y sin espacios vacíos entre el geotextil y la superficie de contacto con el suelo. Los rollos o cortes de geotextil deben traslaparse al menos 300 mm, con la lámina de geotextil aguas arriba cubriendo a la lámina aguas abajo.

A 2.1.2.1. En las trincheras mayores o iguales a los 300 mm de ancho, después de colocar el agregado el geotextil debe ser doblado sobre la parte superior del agregado de tal forma que se produzca un traslapo mínimo de 300 mm. En trincheras con anchos entre 100 mm y 300 mm, el traslapo debe ser igual al ancho de la trinchera. Cuando el ancho de la trinchera sea menor que los 100 mm el traslapo del geotextil debe ser hecho mediante costura o pegado con calor. Todas las juntas deben ser aprobadas por el Ingeniero.

A 2.1.2.2. Puesto que el geotextil podría dañarse durante la instalación o la colocación del agregado para el drenaje, se debe colocar sobre el área dañada un parche con el mismo geotextil extendiéndose unos 300 mm más allá del área afectada, o el traslapo especificado con costura, cualquiera que sea el mayor.

A 2.1.3. La colocación del agregado para drenaje debe seguir inmediatamente después de la colocación del geotextil. El geotextil debería ser cubierto con un mínimo de 300 mm de agregado suelto antes de la compactación. Si se va a instalar una tubería colectora perforada en la trinchera, se debe colocar una capa de apoyo con el agregado drenante por debajo de la tubería, con el agregado restante colocado hasta la profundidad de construcción mínima requerida.

A 2.1.3.1. El agregado debería ser compactado con equipos vibratorios hasta alcanzar un mínimo del 95% del estándar AASHTO a menos que la trinchera se requiera para soporte estructural. Si se exige un esfuerzo de compactación mayor, se necesitará usar un geotextil Clase 1 de la Tabla 1 de esta especificación.

A 2.1.4. Las Figuras A1 hasta la A3 ilustran los diferentes detalles en la aplicación de geotextiles para sistemas de drenaje.

A 3. GEOTEXTILES PARA SEPARACION / ESTABILIZACION (Ver las Secciones 7.1, 7.3 y 7.4)

A 3.1. Construcción

A 3.1.1. El sitio de la instalación debe prepararse mediante la limpieza, eliminación de raíces y la excavación o llenado del área hasta alcanzar la superficie de rasante especificada en el diseño. Esto incluye la remoción del suelo de cobertura y la vegetación.

NOTA 1- Los puntos blandos y las áreas inadecuadas serán identificados durante la preparación del sitio o las subsecuentes pruebas de compactación. Estas áreas deben ser excavadas y rellenadas con material seleccionado y compactadas siguiendo los procedimientos normales.

A 3.1.2. El geotextil debe ser colocado sobre la subrasante preparada

suelto y libre de arrugas y dobleces en la dirección de la construcción. Los rollos adyacentes de geotextil deben traslaparse, coserse o unirse según los requerimientos de los planos. Ver la Tabla A1 para los requerimientos de traslapes.

A 3.1.2.1. En las curvas el geotextil puede doblarse o cortarse para conformar las curvas. El doblar o el traslapo se realiza en la dirección de la construcción y mantenido en su sitio por pasadores, grapas o con montones hechos con el material de relleno o rocas.

A 3.1.2.2. Antes de la cobertura, el geotextil debe ser inspeccionado por un inspector certificado o por el Ingeniero para asegurar que el geotextil no haya sido dañado durante la instalación (p.e., Agujeros, Rasgaduras, Uniones Descosidas, etc.). Los geotextiles dañados, como lo haya identificado el Ingeniero, deben ser reparados inmediatamente. Cubra el área dañada con un parche de geotextil que se extienda más allá del área afectada en una cantidad igual al traslapo requerido.

A 3.1.3. La sub-base debe colocarse descargando sobre el geotextil comenzando desde sus bordes o sobre un agregado de sub-base previamente colocado. No se permite el contacto directo de los vehículos de construcción con el geotextil. La sub-base debe ser colocada de tal forma que esté en todo momento al menos el espesor mínimo de capa entre el geotextil y las llantas de los equipos. No se permitirá el giro de los vehículos sobre la primera capa de compactación por encima del geotextil.

NOTA 2 – En subrasantes con CBR < 1, el agregado de la sub-base debe extenderse en su espesor total tan pronto como sea posible después del descargue con el fin de minimizar el potencial de una falla localizada de subrasante debido a una sobrecarga sobre la misma.

A 3.1.3.1. Si se presentan ahuellamientos durante la construcción, estos deben ser llenados con material de sub-base y compactados hasta una densidad específica.

A 3.1.3.2. Si la colocación del material de relleno causa daños al geotextil, el área dañada debe ser reparada tal como se describió previamente en la sección A 2.1.3.1. Los procedi-

mientos de colocación deben ser entonces modificados para eliminar posibles daños adicionales (p.e., incrementar el espesor de la capa inicial, disminuya las cargas por equipos, etc.)

NOTA 3 - En las aplicaciones de estabilización, no se recomienda el uso de vibro-compactadores en la construcción de la primera capa de la sub-base, ya que esto puede causar daños al geotextil.

A 6. GEOTEXTILES PARA PAVIMENTACION

A 6.1. Materiales

A 6.1.1. El material sellante usado para impregnar y sellar al geotextil, como también para pegarlo al pavimento de base y la capa de repavimentación, debe ser un asfalto para pavimentación recomendado por el fabricante del geotextil y aprobado por el Ingeniero.

A 6.1.1.1. Los cementos asfálticos son los selladores preferidos, sin embargo pueden ser utilizadas las emulsiones asfálticas catiónicas o aniónicas teniendo en cuenta las precauciones que se describen en la Sección A 6.3.3. Los cutbacks y emulsiones que contengan solventes no deberán ser usadas.

A 6.1.1.2. El tipo de cemento asfáltico especificado para el diseño de la mezcla caliente en cada localización geográfica es generalmente el material más aceptable.

A 6.1.2. Se puede esparcir arena lavada sobre un geotextil saturado con asfalto para facilitar el movimiento de los equipos durante la construcción o para prevenir el rasgado o la delaminación del geotextil. También puede usarse el riego de mezcla caliente al frente de las llantas de los vehículos de construcción para que cumpla con este propósito. Si se aplica arena, las cantidades en exceso deben removerse del geotextil antes de colocar la rodadura.

A 6.1.2.1. Usualmente no se requiere de la arena. Sin embargo, las temperaturas ambiente ocasionalmente son lo suficientemente altas para causar una exudación del sellador asfáltico resultando en una adhesión indeseable del geotextil con las llantas de los vehículos.

A 6.2. Equipos

A 6.2.1. El irrigador de asfalto debe ser capaz de rociar el sellador asfáltico

a la tasa de aplicación descrita uniformemente. No se permite salpicaduras, saltos ni veteados. El irrigador también debe estar equipado con un aspersor manual de boquilla sencilla y válvula de interrupción positiva.

A 6.2.2. El equipo mecánico o manual de instalación del geotextil debe ser capaz de instalarlo uniformemente.

A 6.2.3. Se deben suministrar los siguientes equipos misceláneos: Escobas de cerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie del geotextil, tijeras o cuchillas para cortar el geotextil, cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslapes del geotextil.

A 6.2.4. Puede requerirse para ciertos trabajos equipos de compactación neumática para uniformizar la imprimación del geotextil con el sellador y equipos de sanding. El emparejar con rodillos es requerido especialmente en trabajos donde se coloquen capas delgadas o chip seals. El emparejamiento con rodillos ayuda a la adhesión del geotextil a las capas de pavimento adyacentes en la ausencia de peso y calor asociados con capas más gruesas de pavimento asfáltico.

A 6.3. Construcción

A 6.3.1. Ni el sellador asfáltico ni el geotextil deben colocarse cuando las condiciones del tiempo a juicio del Ingeniero no sean las adecuadas. Las temperaturas del aire y del pavimento deben ser las suficientes para permitir que el sellador asfáltico haga que el geotextil permanezca en su sitio. Para los cementos asfálticos la temperatura ambiente debe ser de 10°C o mayor. Para las emulsiones asfálticas la temperatura debe ser de 15°C o mayor.

A 6.3.2. La superficie sobre la cual el geotextil va a ser colocado, debe estar razonablemente libre de mugre, agua, vegetación u otro tipo de escombros. Las fisuras que excedan los 3 mm de ancho deben rellenarse con un llenante adecuado para fisuras. Los potholes deben repararse adecuadamente como sea indicado por el Ingeniero. Debe permitirse el curado de los llenantes antes de la colocación del geotextil.

A 6.3.3. La tasa especificada para la aplicación del sellador asfáltico debe ser suficiente para satisfacer las propiedades de retención asfáltica del geotextil y adherir el geotextil y la capa

de repavimentación con el pavimento antiguo

NOTA 1 – Cuando se usen emulsiones, la tasa de aplicación debe incrementarse para compensar el contenido de agua de la emulsión.

A6.3.3.1. La aplicación del sellador debe ser hecha mediante una flauta irrigadora, evitando al máximo la aplicación manual. La temperatura del sellador asfáltico debe ser suficientemente alta para permitir un patrón uniforme de riego. Para los cementos asfálticos la temperatura mínima debe ser de 145°C. Para evitar daños al geotextil, las temperaturas del tanque distribuidor no deben exceder los 160°C.

A6.3.3.2. Los patrones de riego con emulsiones asfálticas son mejorados con calentamiento. Es deseable un rango de temperaturas entre 55°C y 70°C. No debe excederse una temperatura de 70°C puesto que a partir de esta puede romperse la emulsión.

A6.3.3.3. El ancho de la aplicación para el sellante asfáltico debe ser el ancho del rollo de geotextil más 150 mm. No debe aplicarse el sellador asfáltico a una distancia mayor a aquella que el contratista pueda mantener libre de tráfico.

A6.3.3.4. Debe limpiarse los derrames de asfalto de la superficie de la vía para evitar la sobresaturación y movimientos del geotextil.

A6.3.3.5. Cuando se usan emulsiones asfálticas, la emulsión debe curar antes de colocar el geotextil y la superficie de cubrimiento final. Esto

significa esencialmente que no debe permanecer humedad.

A6.3.4. El geotextil debe colocarse sobre el sellante asfáltico con un arrugamiento mínimo antes de que el asfalto se haya enfriado y perdido pegajosidad. Como lo señale el Ingeniero, las arrugas o dobleces que excedan los 25 mm deben cortarse y dejarse planos.

A6.3.4.1. El alisado o el emparejamiento con rodillos se requerirá para maximizar el contacto del geotextil con la superficie del pavimento.

A6.3.4.2. El traslapo de las uniones del geotextil debe ser suficiente para asegurar un cierre total en la junta, pero no debería exceder los 150 mm. Las juntas transversales deben ser traslapadas en la dirección de la pavimentación para evitar que el borde sea levantado por la máquina pavimentadora. Se requerirá una segunda aplicación del sellador asfáltico en los traslapos entre el geotextil si a juicio del Ingeniero se requiere una cantidad adicional para asegurar una pega adecuada de la doble capa de geotextil.

A6.3.4.3. La remoción y el remplazo del geotextil que se dañe será responsabilidad del contratista.

A6.3.4.4. El tráfico sobre el geotextil solo se permitirá para vehículos de emergencia y de construcción.

A6.3.5. La colocación de la mezcla caliente debe seguir inmediatamente a la colocación del geotextil. La temperatura de la mezcla no debe exceder los 160°C. Dado el caso que el asfalto se exude a través del geotextil causando problemas constructivos antes de colocar la carpeta de repavimentación, las áreas afectas deben ser secadas me-

dante el riego de arena. Para evitar movimientos o daños del geotextil saturado con el sellador, los giros de la finisher y otros equipos deben ser graduales y mantenerse al mínimo.

A6.3.6. Antes de colocar el recubrimiento con el sellador (o una capa de repavimentación delgada tal como capa friccionante de gradación abierta), riegue ligeramente con arena el geotextil a una tasa de 0.65 a 1.0 kg/m².

CONSEJO

Se recomienda que por razones de seguridad, no sea permitido el tráfico sobre el geotextil. Sin embargo si la agencia de contratación elige permitir el tráfico, se recomienda la siguiente acotación:

"Si es aprobado por el Ingeniero, El geotextil saturado con el sellador puede darse al tráfico de 24 a 48 horas antes de instalar la capa de rodadura. Deben colocarse señales de advertencia que avisen al conductor que la superficie puede ser lisa cuando está húmeda. Las señales también deben advertir sobre la velocidad de seguridad adecuada. El exceso de arena debe ser barrido antes de colocar la capa de repavimentación. Si a juicio del Ingeniero, la superficie de la tela parece seca y carece de pegajosidad después de su exposición al tráfico, debe aplicarse una capa ligera de pega antes de colocar la capa de repavimentación."

TABLA 1 Requerimientos para las Propiedades de Resistencia de los Geotextiles

	Método de Ensayo	Unidades	Clase de Geotextil					
			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
			Elongación < 50%	Elongación > 50%	Elongación < 50%	Elongación > 50%	Elongación < 50%	Elongación > 50%
Resistencia Grab	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia de la Costura	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al Rasgado	ASTM D 4533	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al Punzado	ASTM D 4833	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	kPa	3500	1700	2700	1300	2100	950
Permitividad	ASTM D 4991	s ¹	Los valores mínimos de las propiedades para la Permitividad, TAA y Estabilidad UV están basados en la aplicación para el geotextil. Refiérase a la Tabla 2 para el drenaje subsuperficial, la Tabla 3 para la Separación, la Tabla 4 para la Estabilización y la Tabla 5 para el Control de Erosión Permanente.					
Tamaño de Apertura Aparente	ASTM D 4751	mm						
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D 4355	%						

TABLA 2. Requerimientos para el Geotextil en Drenaje Subsuperficial

Clase del Geotextil	Métodos de Ensayo	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje de Suelo que Pasa Tamiz No 200		
			< 15	15 a 50	> 50
Permitividad	ASTM D 4491	s ¹	0.5	0.2	0.1
TAA	ASTM D 4751	mm	0.43	0.25	0.22
			valores máx prom por rollo	valores máx prom por rollo	valores máx prom por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Manteneda)	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

Notas para la Tabla 2

- Basado en el análisis granulométrico del suelo in-situ de acuerdo con la AASHTO T 88
- Selección por omisión del geotextil. El ingeniero puede especificar un geotextil Clase 3 de la Tabla 1 para aplicaciones de drenaje en trincheras basado en uno o más de los siguientes conceptos:
 - El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basado en la experiencia en campo.
 - El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basado en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo unas condiciones de campo.
 - La profundidad del subdren es menor de 2.0 m, el diámetro del agregado es menor de 30 mm y los requerimientos de compactación son menores del 95% de la AASHTO T 99.
- Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados en los tamaños de las partículas predominantes de un suelo in-situ. Adicionalmente al valor por omisión para la permitividad, el ingeniero puede requerir de la permeabilidad del geotextil y/o ensayos de desempeño basado en la ingeniería de diseño para sistemas de drenaje en ambientes de suelos problemáticos.
- Debería efectuarse un diseño del geotextil para un sitio específico, especialmente si uno o más de los siguientes suelos problemáticos son encontrados: suelos inestables o altamente erosionables tales como los limos no cohesivos, suelos de gradación abierta, suelos laminados alternando arenas y limos, arcillas dispersivas y o polvo de roca.
- Para los suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor máximo promedio por rollo es de 0.30 mm.

TABLA 3. Requerimientos para las Propiedades del Geotextil en Separación

	Métodos de Ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase del Geotextil			Clase 2 de la Tabla 1
Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.02
TAA	ASTM D 4751	mm	0.60 valor máx. prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)	ASTM D 4355	%	50% después de 300 horas de exposición

Notas:

- Selección por omisión del geotextil. El ingeniero puede especificar un geotextil Clase 3 de la Tabla 1 para aplicaciones de drenaje en trincheras basadas en uno o más de los siguientes conceptos:
 - El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basado en la experiencia en campo.
 - El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basado en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo esas condiciones de campo.
 - El espesor del agregado de cobertura de la primera capa excede los 300 mm y el diámetro del agregado es menor de 50 mm.
 - El espesor del agregado de cobertura de la primera capa excede los 150 mm, el diámetro del agregado es menor de 30 mm y la presión de contacto de los equipos de construcción es inferior a los 150 kPa.
- Valor por omisión. La permitividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo ($\psi_g > \psi_s$). El ingeniero también puede exigir que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo ($k_g > k_s$).

TABLA 4. Requerimientos para las Propiedades del Geotextil en Estabilización

	Métodos de Ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase del Geotextil			Clase 1 de la Tabla 1
Permitividad	ASTM D 4491	s ⁻¹	0.05
TAA	ASTM D 4751	mm	0.43 valor máx. prom. por rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Mantenido)			

Notas:

- Selección por omisión del geotextil. El ingeniero puede especificar un geotextil Clase 2 o 3 de la Tabla basado en uno o más de los siguientes conceptos:
 - El ingeniero ha encontrado que la clase de los geotextiles tiene una supervivencia suficiente basado en la experiencia en campo.
 - El ingeniero ha encontrado que la Clase de los geotextiles tiene una supervivencia suficiente basado en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo esas condiciones de campo.
- Valor por omisión. La permitividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo ($\psi_g > \psi_s$). El ingeniero también puede exigir que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo ($k_g > k_s$).

TABLA 7. Requerimientos para las Propiedades del Geotextil en Pavimentación

	Métodos de Ensayo	Unidades	Requerimientos
Resistencia Grab	ASTM D 4632	N	450
Masa por Unidad de Área	ASTM D 3776	g/m ²	140
Elongación en Rótura	ASTM D 4632	%	≥ 50
Retención Asfáltica	Texas DOT Item 3099	l/m ²	Notas 1 y 2
Punto de Fusión	ASTM D 276	°C	150

Notas:

- Únicamente el asfalto requerido para saturar al geotextil. La retención asfáltica debe ser suministrada en una certificación del fabricante (Refiérase a la Sección 4). El valor no indica la tasa de aplicación de asfalto requerido en la construcción. Refiérase al Apéndice para la discusión sobre la tasa de aplicación de asfalto.
- La propiedad de retención asfáltica del producto debe cumplir con los VMFR suministrados en la certificación del fabricante (Refiérase a la Sección 4).



Presentación del Geotextil



*Colocación del Geotextil como refuerzo de la subrasante
se puede apreciar los traslapes entre geotextiles*



En esta vista se aprecia la colocación del Geotextil sobre la subrasante sin compactar



*Tendido del Geotextil sobre la subrasante sin compactar
cumpliendo la función de separación y refuerzo*



Tendido del material granular de la forma tradicional utilizando motorizadora y tractor



Ejemplo de una correcta colocación del Geotextil evitando la formación de arrugas



Colocación de la primera capa Granular sobre el Geotextil

BIBLIOGRAFIA

1. SIMPOSIO SOBRE GEOTEXTILES

Sociedad Mexicana de Suelos . Julio de 1990

2. SEMINARIO – FORUM INTERNACIONAL “ GEOSINTETICOS PARA LA CONSTRUCCION “

Colegio de Ingenieros del Perù. Abril de 1998

3. USO DE GEOTEXTILES EN LA INGENIERIA

Tesis para optar Título de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad

Nacional de Ingeniería. Año 1999

Bach. Ing. Yadira Enriquez

**4. X CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL “ LOS
GEOTEXTILES Y SUS APLICACIONES EN OBRAS DE
PAVIMENTACION “**

Ing. César López Calderón. Noviembre 1994

**5. ESTUDIO DEFINITIVO DE INGENIERIA PARA LA REHABILITACION
DE LA CARRETERA PUQUIO – CHALLHUANCA. TRAMO PUQUIO –
DESVIO PAMPACHIRI.**

Biblioteca Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

6. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Ing. Néstor Huamán Guerrero

7. PUBLICACIONES INFORMATIVAS “ GEOSISTEMAS PAVCO”.